



Tesis - TM142501

**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA GENERATOR GAS HHO  
DENGAN ELEKTRODA TITANIUM DAN  
MENGAPLIKASIKAN PADA SEPEDA MOTOR 150CC  
SISTEM INJEKSI**

ALFI TRANGGONO A.S.  
2114202015

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



Theses - TM142501

# **PERFORMANCE CHARACTERISTIC OF HHO GAS GENERATOR WITH TITANIUM ELECTRODE AND ITS APPLICATION TO 150CC MOTORCYCLE INJECTION SYSTEM**

ALFI TRANGGONO A.S.  
2114202015

Supervisor  
Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., M.T.

MASTER PROGRAM  
FIELD STUDY OF ENERGY CONVERSION ENGINEERING  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:  
Alfi Tranggono Agus Salim  
Nrp. 2114202015**

**Tanggal Ujian: 20 Juli 2016  
Periode Wisuda: 114 - September 2016**

**Disetujui oleh:**


**1. Dr.Bambang Sudarmanta.ST.,MT.**

**NIP. 1973.0116.1997.02.1001**

  
( Pembimbing )

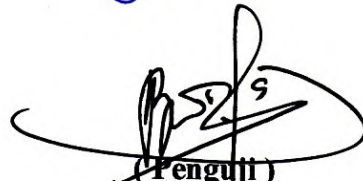
**2. Dr.Ir.Budi Utomo K.W.,ME.**

**NIP. 1953.1219.1981.03.1001**

  
( Penguji )

**3. Dr.Bambang Arip D.,ST.,M.Eng**

**NIP. 1978.0401.2002.12.1001**

  
( Penguji )

**4. Ary Bachtiar K.P.,ST.,MT.,Ph.D**

**NIP. 1971.0524.1997.02.1001**

  
( Penguji )



**Direktur Program Pascasarjana,**

  
**Prof.Ir. Diauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP. 19601202 198701 1 001**

# KARAKTERISTIK UNJUK KERJA GENERATOR GAS HHO DENGAN ELEKTRODA TITANIUM DAN MENGAPLIKASIKAN PADA SEPEDA MOTOR 150CC SISTEM INJEKSI

Nama mahasiswa : Alfi Tranggono .A.S  
NRP : 2114202015  
Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., M.T.

## ABSTRAK

Gas HHO atau *brown gas* diproduksi dari elektrolisis air oleh generator gas HHO (GHHO). Unjuk kerja generator gas HHO dipengaruhi oleh elektroda, elektrolit, dan arus listrik searah. Elektroda titanium memiliki nilai konduktifitas termal lebih tinggi dan resistivitas listrik lebih rendah dari *stainless steel*. Gas HHO ditambahkan pada sepeda motor melalui *intake manifold* kedalam mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh elektroda titanium pada unjuk kerja generator gas HHO dan mengetahui pengaruh penambahan gas HHO terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang sepeda motor.

Unjuk kerja GHHO yang diuji dengan penambahan PWM variasi *duty cycle* dari 20%, 40%, 60%, & 80% dan tanpa penambahan PWM. Parameter yang diukur tegangan listrik, arus listrik, temperatur elektrolit, debit gas HHO, dan waktu pengujian dan yang dihitung daya listrik, laju produksi gas HHO, produksi gas HHO spesifik, dan efisiensi GHHO, selanjutnya gas HHO dari variasi terbaik diaplikasikan pada sepeda motor Honda CB150R. Unjuk kerja sepeda motor yang diukur torsi, kadar emisi gas buang ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , HC, & CO), data akusisi temperatur (mesin, oli mesin, & gas buang), laju konsumsi bahan bakar dan dihitung daya, tekanan efektif rerata, efisiensi termal, dan konsumsi bahan bakar spesifik.

Hasil dari penelitian unjuk kerja generator gas HHO dihasilkan efisiensi tertinggi variasi *duty cycle* 40% senilai 42,15%. Waktu pengujian terlama variasi *duty cycle* 20% selama 240 menit. Kebutuhan daya tertinggi senilai 104,72 watt pada variasi direct connection. Dan hasil dari penelitian unjuk kerja mesin sepeda motor bahan bakar pertamax menghasilkan torsi tertinggi senilai 18,674 N.m, daya tertinggi senilai 13,255 kW, efisiensi termal senilai 36,09%, tekanan efektif rerata tertinggi senilai 1366,404 kPa, serta gas buang pada rpm 7000,  $\text{CO} = 8,21\% \text{ vol.}$ ,  $\text{CO}_2 = 8,39\% \text{ vol.}$ ,  $\text{O}_2 = 2,03\% \text{ vol.}$ , dan HC = 165.000 ppm vol.

Bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO menghasilkan torsi tertinggi senilai 19,267 N.m, daya tertinggi senilai 14,54 kW, efisiensi termal tertinggi senilai 40,27%, tekanan efektif rerata tertinggi senilai 1463,648 kPa. serta gas buang pada rpm 7000, CO = 8,17%vol., CO<sub>2</sub> = 8,65%vol., O<sub>2</sub>=1,76%vol., dan HC = 151.000 ppm vol.

Kata kunci: generator gas HHO, elektroda, titanium, unjuk kerja, gas buang

# **PERFORMANCE CHARACTERISTIC OF HHO GAS GENERATOR WITH TITANIUM ELECTRODE AND ITS APPLICATION TO 150CC MOTORCYCLE INJECTION SYSTEM**

Student : Alfi Tranggono .A.S  
ID Number : 2114202015  
Advisor : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., M.T.

## **ABSTRACT**

The HHO gas or brown gas produced from water electrolysis by a gas generator (GHHO). The performance of the HHO gas generator influenced by electrode, electrolyte and direct current. Titanium electrode's thermal conductivity is higher, and its electrical resistivity is lower than a stainless steel. The HHO gas added to the motor cycle through the intake manifold to the engine. The purpose of this research is to understand the influence of titanium electrode towards the performance of HHO gas generator and to understand the affection of the addition of HHO gas against its performance and also the gas emission of the motorcycle.

The GHHO performance was being tested by the augmentation of PWM with the variation of duty cycle from 20%, 40%, 60% and 80% and without PWM addition. The measured parameters are electrical voltage, electrical current, temperature of the electrolyte, discharge of the HHO gas, testing time, electrical power, production rate of HHO, specifications of HHO gas production and its efficiency. After all, the best variation was being implemented to the motorcycle type HONDA CB150R. The performance parameters of motorcycle that being measured is torch, emission level CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC & CO), acquisition temperature (engine, engine oil, emission and radiator), the rate of fuel gas consumption, average effective pressure, thermal efficiency and the consumption of specific fuel.

The results of the research performance of the HHO gas generator produced the highest efficiency of 40% duty cycle variation amounting to 42.15 %. Longest test time variation of 20% duty cycle for 240 minutes. The highest power requirement amounting to 104.72 watts at direct variation connction. And the results of the research performance motorcycle engine fuel pertamax produces the highest torque worth 18.674 N.m, the highest worth 13.255 kW power, thermal efficiency amounting to 36,09%, the highest mean effective pressure amounting to 1366.404 kPa, and the exhaust gases at 7000 rpm , CO = 8.21% vol. , CO<sub>2</sub> = 8.39% vol. , O<sub>2</sub> = 2.03% vol. and HC = 165.000 ppm vol.



And fuel pertamax with the addition of HHO gas produces the highest torque worth 19.267 N.m, the highest worth 17.39 kW power, highest thermal efficiency amounting to 40.27 %, the highest mean effective pressure amounting to 1463.648 kPa as well as the exhaust gases at 7000 rpm , CO=8.17% vol. , CO<sub>2</sub> = 8.65 % vol. , O<sub>2</sub> = 1.76% vol., and HC = 151.000 ppm vol.

Keywords: HHO gas generator, performance, flue gas, electrode, titanium

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL INDONESIA</b> .....	iii
<b>HALAMAN JUDUL INGGRIS</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
1.6 Metode Penelitian .....	9
1.7 Sistematika Penulisan .....	9
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	11
2.2 Dasar Teori.....	30
2.2.1 Gas HHO (Brown Gas) .....	30
2.2.2 Mesin Hidrogen .....	30
2.2.3 Generator gas HHO (GHHO) .....	31
2.2.4 Elektrolisis .....	31
2.2.5 Elektroda .....	33
2.2.6 Klasifikasi Generator HHO.....	37

2.2.7	Parameter unjuk kerja generator gas HHO.....	39
2.2.8	<i>Pulse width modulator</i> (PWM) .....	45
2.2.9	Siklus pembakaran pada mesin 4 langkah pengapian busi	47
2.2.10	Perbandingan campuran bahan bakar dan udara .....	49
2.2.11	Parameter karakteristik torsi dan daya pada mesin motor pembakaran dalam.....	51
2.2.12	Parameter unjuk kerja mesin sepeda motor.....	54
2.2.13	Gas buang kendaraan berbahan bakar bensin.....	57

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	63
3.2	Variabel Penelitian .....	63
3.3	Rancangan/Skema Penelitian (flow chart) .....	65
3.4	Desain Generator gas HHO tipe dry cell .....	67
3.5	Proses Pembentukan dan Perangkaian Generator gas HHO tipe dry cell .....	70
3.6	Peralatan dan Instrumen Penelitian.....	73
3.7	Pengujian Unjuk Kerja Generator gas HHO (GHHO) .....	75
3.8	Proses Pemasukan Gas HHO kedalam Mesin.....	77
3.9	Persiapan Pengujian Aplikasi Gas HHO pada Sepeda Motor.....	79
3.10	Prosedur Pengujian .....	87
3.9.1	Pengujian Gas Buang .....	87
3.9.2	Pengujian Unjuk Kerja Mesin.....	88
3.11	Pencapaian Hasil Pada Penelitian Ini .....	91
3.9.3	Pengujian Generator Gas HHO .....	91
3.9.4	Pengujian Mesin Sepeda Motor .....	92
3.12	Rencana dan jadwal kegiatan penelitian.....	93

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Data Hasil Pengujian.....	95
4.2	Pehitungan Unjuk Kerja Generator Gas HHO (GHHO) .....	95
4.3	Pehitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor .....	97

4.4 Analisa Unjuk Kerja Generator Gas HHO .....	104
4.5 Analisa Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor .....	115
4.6 Analisa Gas Buang Mesin Sepeda Motor.....	123
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	127
5.2 Saran.....	129
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>131</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>135</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Penelitian terdahulu.....	11
<b>Tabel 2.2</b>	Jenis katalis terhadap konduktifitas pada temperatur 298K.....	32
<b>Tabel 2.3</b>	Perbandingan material <i>Stainless steel</i> dan Titanium.....	34
<b>Tabel 3.1</b>	Perlengkapan alat pembentukan dan perangkaian generator gas HHO tipe <i>Dry cell</i> .....	70
<b>Tabel 3.2</b>	Kelengkapan bahan pembentukan dan perangkaian generator gas HHO tipe <i>Dry cell</i> .....	71
<b>Tabel 3.3</b>	Lembar data pengujian GHHO tanpa PWM .....	76
<b>Tabel 3.4</b>	Lembar data pengujian GHHO variasi <i>duty cycle</i> .....	76
<b>Tabel 3.5</b>	Spesifikasi sepeda motor CB150R.....	80
<b>Tabel 3.6</b>	Spesifikasi gas <i>analyzer</i> merek STARGAS tipe 898.....	81
<b>Tabel 3.7</b>	Spesifikasi <i>Water Brake Dynamometer</i> .....	82
<b>Tabel 3.8</b>	Spesifikasi <i>stopwatch</i> .....	83
<b>Tabel 3.9</b>	Spesifikasi <i>Blower</i> udara.....	84
<b>Tabel 3.10</b>	Spesifikasi akusisi data temperatur .....	85
<b>Tabel 3.11</b>	Spesifikasi <i>flowmeter</i> gas .....	86
<b>Tabel 3.12</b>	Lembar data pengujian unjuk kerja sepeda motor tanpa penambahan gas HHO.....	89
<b>Tabel 3.13</b>	Lembar data pengujian unjuk kerja sepeda motor dengan penambahan gas HHO.....	90
<b>Tabel 3.14</b>	Parameter input & output pengujian generator gas HHO .....	91
<b>Tabel 3.15</b>	Parameter input & output pengujian mesin sepeda motor .....	92
<b>Tabel 3.16</b>	Rencana dan jadwal kegiatan penelitian .....	93

*(Halaman Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Dimensi elektroda (kiri ke kanan) <i>Dry Cell</i> dan <i>Wet Cell</i> (Ghiffari,2013).....	12
<b>Gambar 2.2</b>	PWM E-3 FF frekuensi 1 kHz (Ghiffari,2013) .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Variasi <i>Duty cycle</i> 20%, 40%, 60%, dan 80% (kiri atas-kanan bawah) (Ghiffari,2013).....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Skema pengujian alat dengan PWM (Ghiffari,2013) .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Arus generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013) .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik temperatur generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Grafik daya terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Grafik laju produksi gas HHO terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Grafik laju produksi gas HHO terhadap fungsi temperatur (Ghiffari,2013).....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Grafik produksi gas spesifik terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Grafik efisiensi generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Skematik eksperimental penambahan gas HHO di saluran udara dan bahan bakar (Musmar,2011). .....	19
<b>Gambar 2.13</b>	Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan <i>CO</i> di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011). .....	20
<b>Gambar 2.14</b>	Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan <i>NO</i> di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011). .....	20
<b>Gambar 2.15</b>	Grafik efek penggunaan gas HHO pada efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).....	21



<b>Gambar 2.16</b> Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan NOx di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).....	21
<b>Gambar 2.17</b> Dimensi elektroda (kiri ke kanan) <i>Dry Cell</i> dan <i>Wet Cell</i> Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan oksigen di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).....	22
<b>Gambar 2.18</b> Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan karbondioksida di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011). ....	23
<b>Gambar 2.19</b> Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan hidrokarbon di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011). ....	23
<b>Gambar 2.20</b> Grafik efek penggunaan gas HHO pada temperatur gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).....	24
<b>Gambar 2.21</b> Grafik efek penggunaan gas HHO pada lamda ( $\lambda$ ) terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011). ....	25
<b>Gambar 2.22</b> Skematik pengujian mesin (Sudarmanta,2016). ....	26
<b>Gambar 2.23</b> Waktu pengapian terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).....	26
<b>Gambar 2.24</b> Grafik torsi pengereman terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).....	27
<b>Gambar 2.25</b> Grafik daya pengereman terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).....	28
<b>Gambar 2.26</b> Grafik <i>BMEP</i> terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).....	28
<b>Gambar 2.27</b> Grafik konsumsi bahan bakar spesifik ( <i>sfc</i> ) terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016). ....	29
<b>Gambar 2.28</b> Grafik efisiensi termal terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).....	29
<b>Gambar 2.29</b> Pemecahan molekul air menjadi gas HHO (Ghiffari, 2013).....	30

<b>Gambar 2.30</b> Rangkaian dasar sistem elektrolisa (Nofriyandi, 2014) .....	33
<b>Gambar 2.31</b> Elektroda <i>stainless steel</i> SS304.....	34
<b>Gambar 2.32</b> Elektroda Titanium ( <i>grade 1</i> ).....	35
<b>Gambar 2.33</b> Diagram Pourbaix Titanium untuk Ti-H <sub>2</sub> O pada temperatur 25°C (Bhola,2013).....	36
<b>Gambar 2.34</b> Generator gas HHO tipe <i>dry cell</i> .....	38
<b>Gambar 2.35</b> Generator gas HHO tipe <i>wet cell</i> (Ghiffari,2013) .....	38
<b>Gambar 2.36</b> Reaksi eksoterm (Kuphaldt,2012) .....	43
<b>Gambar 2.37</b> Reaksi endoterm (Kuphaldt,2012).....	43
<b>Gambar 2.38</b> Skema perhitungan nilai <i>duty cycle</i> PWM (Ghiffari,2013).....	45
<b>Gambar 2.39</b> Lebar pulsa <i>on</i> dan <i>off duty cycle</i> PWM (Haldemar,2012) .....	46
<b>Gambar 2.40</b> Siklus mesin 4 langkah pengapian busi (Erjavec,2010).....	47
<b>Gambar 2.41</b> Rasio kompresi kritis terhadap nilai oktan bahan bakar (AKI) pada mesin (Pulkbarek,1997). .....	51
<b>Gambar 2.42</b> <i>Flame speed</i> rerata pada mesin pembakaran dalam berbahan bakar bensin terhadap putaran mesin (Pulkbarek,1997).....	53
<b>Gambar 2.43</b> Efisiensi Volumetrik terhadap putaran mesin (Pulkbarek,1997). .....	54
<b>Gambar 2.44</b> Skema gaya yang bekerja pada piston (Abdullah,2014) .....	55
<b>Gambar 2.45</b> Gas buang hasil pembakaran bahan bakar dan udara (Martyr,2012) .....	57
<b>Gambar 2.46</b> Sumber emisi gas buang kendaraan bermotor kaburator (Abdullah,2014).....	58
<b>Gambar 2.47</b> Korelasi antara emisi gas buang dan <i>air/fuel ratio</i> pada mesin bensin (Martyr,2012) .....	59
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir ( <i>flow chart</i> ) Penelitian – awal .....	65
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir ( <i>flow chart</i> ) Penelitian – akhir .....	66
<b>Gambar 3.3</b> Desain elektroda dalam satuan milimeter.....	67
<b>Gambar 3.4</b> Desain penambahan konektor antar elektroda.....	68
<b>Gambar 3.5</b> Desain <i>Acrylic</i> dalam satuan milimeter.....	68
<b>Gambar 3.6</b> Dimensi <i>seal</i> dalam diameter satuan milimeter.....	69

<b>Gambar 3.7</b>	Skema penyusunan kelistrikan pada elektroda generator gas HHO .....	72
<b>Gambar 3.8.a</b>	Desain generator gas HHO (GHHO) terangkai .....	72
<b>Gambar 3.8.b</b>	Desain generator gas HHO (GHHO) tidak terangkai .....	73
<b>Gambar 3.9</b>	Skema pengujian generator gas HHO (GHHO).....	74
<b>Gambar 3.10</b>	Skema pengukuran temperatur elektrolit dengan termokopel ..	75
<b>Gambar 3.11</b>	Skema pemasukan gas HHO pada saluran udara.....	77
<b>Gambar 3.12</b>	Skema aliran bahan bakar menuju ke ruang bakar mesin (Astra,2012) .....	79
<b>Gambar 3.13</b>	Sepeda motor CB150R .....	79
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Gas Analyzer</i> merek STARGAS tipe 898 (Stargas family,DP0212).....	81
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Dynometer</i> tipe <i>Water brake</i> .....	82
<b>Gambar 3.16</b>	<i>Stopwatch</i> jenis digital .....	83
<b>Gambar 3.17</b>	<i>Blower</i> udara .....	83
<b>Gambar 3.18</b>	Alat ukur temperatur 4 <i>channel thermocouple</i> .....	84
<b>Gambar 3.19</b>	Alat ukur debit aliran bahan bakar bensin - <i>fuelmeter</i> .....	85
<b>Gambar 3.20</b>	<i>Flowmeter</i> gas .....	86
<b>Gambar 3.21</b>	Skema alat ukur pengujian unjuk kerja sepeda motor .....	87
<b>Gambar 4.1</b>	Arus listrik terhadap waktu pengujian .....	104
<b>Gambar 4.2</b>	Temperatur elektrolit terhadap waktu pengujian .....	106
<b>Gambar 4.3</b>	Konsumsi daya listrik terhadap waktu pengujian .....	108
<b>Gambar 4.4</b>	Laju produksi gas HHO terhadap waktu pengujian.....	109
<b>Gambar 4.5</b>	Laju produksi gas HHO terhadap temperatur elektrolit.....	110
<b>Gambar 4.6</b>	Produksi gas HHO spesifik terhadap waktu pengujian.....	111
<b>Gambar 4.7</b>	Efisiensi generator gas HHO terhadap waktu pengujian .....	112
<b>Gambar 4.8</b>	Torsi pengereman (BT) terhadap putaran mesin .....	115
<b>Gambar 4.9</b>	Daya pengereman (BHP) terhadap putaran mesin.....	117
<b>Gambar 4.10</b>	Tekanan efektif rerata pengereman (BMEP) terhadap putaran mesin .....	118
<b>Gambar 4.11</b>	Konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin .....	119
<b>Gambar 4.12</b>	Efisiensi termal terhadap putaran mesin .....	121

<b>Gambar 4.13</b> Lamda terhadap putaran mesin.....	122
<b>Gambar 4.14</b> Gas karbon monoksida (CO) terhadap putaran mesin.....	123
<b>Gambar 4.15</b> Gas karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) terhadap putaran mesin .....	124
<b>Gambar 4.16</b> Gas oksigen (O <sub>2</sub> ) terhadap putaran mesin .....	125
<b>Gambar 4.17</b> Gas hidrokarbon (HC) terhadap putaran mesin.....	126

*(Halaman Sengaja Dikosongkan)*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latarbelakang**

Air merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Air murni atau aquades tersusun dari atom hidrogen & atom oksigen. Atom hidrogen merupakan unsur kimia dalam bentuk gas. Gas hidrogen merupakan bahan bakar beroktan tinggi sebesar 130 (lampiran 6), sedangkan atom oksigen yang menyusun molekul air sebagai pengikat agar terbentuk ikatan hidrogen yang setimbang berupa  $H_2O$ . Molekul air dapat dipisahkan menjadi atom hidrogen dan atom oksigen dalam bentuk gas. Gas oksigen dalam reaksi pembakaran berperan sebagai oksidator yaitu berfungsi membantu terjadinya pembakaran, kandungan air/aquades disimpulkan memiliki kandungan bahan bakar dan oksidator.

Proses produksi gas hidrogen dikembangkan pada tahun 1839 oleh Sir William Grove asal inggris. Eksperimen tentang elektrolisis untuk memproduksi gas hidrogen dan gas oksigen telah dilakukan Grove, penelitian tersebut dikenal dengan “*gas battery*”, dengan menghubungkan baterai ke elektroda platinum yang terendam elektrolit hingga menghasilkan gas hidrogen dan gas oksigen. Mengadopsi penelitian terdahulu tentang “*gas battery*” dengan penambahan rangkaian seri pada “*gas battery*” yang dilakukan oleh Grove tahun 1842. Di Inggris tahun 1950-an Francis Bacon berhasil memproduksi sel bahan bakar pertama yang praktis dengan penambahan KOH pada elektrolit dan penggunaan nikel sebagai elektroda (Cook,2009).

Pada tahun 1895 telah dilakukan metode untuk memecah molekul air dengan cara elektrolisis (J.Hale,1919). Pembangkit gas hidrogen dan gas oksigen pertama yang moderen diperkenalkan oleh Dr. O. Schmidt tahun 1899 dengan menghasilkan 99% gas hidrogen murni dan 97% gas oksigen murni (J.Hale, 1919). Pada tahun 1977 Brown melakukan penelitian tentang pengelasan dengan memanfaatkan gas yang dihasilkan dari proses elektrolisa. Hasil penelitian Brown telah terpublikasi dan dipatenkan, sehingga gas hasil pemecahan molekul air

tersebut lebih dikenal dengan *Brown gas* (King,2011). Metode yang digunakan Brown dikenal dengan elektrolisis. Metode elektrolisis dibutuhkan energi dalam bentuk potensial listrik untuk memecah molekul air. Perkembangan metode elektrolisis untuk memecah molekul air telah banyak dilakukan oleh para peneliti, pada tahun 1980-1998 Stanley mayer telah melakukan penelitian tentang *Brown gas* dan selanjutnya disebut gas HHO hingga berhasil memanfaatkan gas HHO sebagai bahan bakar sepeda motor.

Alat konvensional penghasil gas HHO dengan metode elektrolisa disebut dengan generator gas HHO (GHHO). Generator gas HHO (GHHO) ada 2 tipe, yaitu tipe basah (*Wet cell*) dan tipe kering (*Dry cell*). Perbedaan antara *Wet cell* dan *Dry cell* terletak pada luasan elektroda yang digunakan untuk elektrolisa. Elektrolit pada *Wet cell* merendam keseluruhan luasan elektroda, berbeda dengan elektroda *Dry cell* hanya sebagian yang terendam elektrolit. Studi karakteristik generator gas HHO telah dilakukan Ghiffari pada tahun 2014 tipe *Dry cell* dan *Wet cell* berelektroda *stainless steel 316* dengan penambahan PWM dihasilkan efisiensi tertinggi pada *Dry cell* sebesar 27%, dengan penggunaan daya 283,2 Watt, laju produksi gas HHO sebesar  $6,5 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$  dan produksi gas spesifik sebesar  $1,141 \times 10^{-8} \text{ kg/J}$ .

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Al-Rababah pada tahun 2014. Diketahui bahwa terjadi kenaikan torsi dan daya pengereman dengan kenaikan aliran gas HHO. Kenaikan torsi dan daya pengereman sekitar 16,9% dibandingkan dengan mesin tanpa penambahan gas hidrogen sebanyak 2 liter per menit. Pengaplikasian gas HHO pada mesin berbahan bakar bensin telah dilakukan oleh Abdullah M. Yunus pada tahun 2014. Penggunaan bahan bakar bensin premium dengan penambahan gas HHO meningkatkan torsi sebesar 19,87%, daya mesin sebesar 20,14%, tekanan efektif rerata sebesar 19,87%, efisiensi termal sebesar 12,39%.

Penggunaan generator gas HHO secara aplikatif pada sepeda motor berbahan bakar bensin pertamax telah dilakukan oleh Nofriyandi pada tahun 2014, diketahui bahwa terjadi peningkatan daya sebesar 50%, torsi sebesar 29,41%, BMEP sebesar 41,46% efisiensi termal 49,75%, dan penurunan *sfc* 50,63%.

Kendaraan bermotor merupakan kebutuhan primer dalam dunia transportasi khususnya dinegara berkembang seperti Indonesia. Pemanfaatan kendaraan bermotor di Indonesia masih tinggi berkisar 10,39% per tahun (BPS, 2014), kenaikan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya mengakibatkan kenaikan polusi udara yang diakibatkan emisi gas buang dari kendaraan bermotor.

Polusi atau kandungan emisi gas buang pada kendaraan bermotor dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna merupakan proses terjadinya pembakaran didalam torak silinder antara bahan bakar dan udara yang tidak sempurna sehingga menghasilkan emisi gas buang berupa  $C_{(g)}$  (*smoke*),  $CO_{(g)}$ ,  $THC_{(g)}$ ,  $NOx_{(g)}$  & lainnya (Martyr. 2014). Perkembangan penelitian aplikasi gas HHO juga dilakukan oleh Vino, dkk. Pada tahun 2012, penambahan gas HHO pada mesin bensin selain menurunkan konsumsi bahan bakar dan mereduksi emisi gas buang.

Kenaikan torsi dan daya pengereman pada penelitian yang dilakukan Al-Rababah berakibat mereduksi emisi dari CO dan NOx dengan meningkatnya aliran gas HHO. Penelitian M. Yunus pada tahun 2014 tentang pengaplikasian dimesin sinjai dengan sistem bahan bakar injeksi dihasilkan penurunan emisi gas buang CO,  $CO_2$ , HC,  $\lambda$ , berturut-turut sebesar 28,756%, 21,303%, 45,039%, 14,572% dan peningkatan kadar  $O_2$  sebesar 47,554%. Penelitian Nofriyandi tahun 2014 terjadi penurunan emisi gas buang CO sebesar 39,52%,  $CO_2$  sebesar 18,2% dan peningkatan  $O_2$  sebesar 11,01% dari hasil pengaplikasian gas HHO pada mesin motor 150cc bersistem bahan bakar karburator.

Kebutuhan bahan bakar mesin menurun saat terjadi penambahan gas HHO, seperti yang diteliti oleh Al-Rousan pada tahun 2010. Konsumsi bahan bakar bensin pada mesin dengan penambahan gas HHO menurun 20-30%, menurunkan temperatur gas buang, dan sehingga mereduksi polusi

Di tahun 2016 Sudarmanta, dkk. telah melakukan penelitian untuk mengetahui unjuk kerja mesin sinjai dengan penambahan gas HHO yang dihasilkan dari generator tipe *Dry cell* dengan variasi *duty cycle* pada PWM. Efisiensi terbaik terjadi pada *duty cycle* 40%. Unjuk kerja mesin sinjai



menghasilkan kenaikan torsi, daya, termal efisiensi berturut-turut 6,55%, 7,65%, 15,50% dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik hingga 22,06% pada unjuk kerja mesin sinjai.

Penambahan gas HHO pada mesin bensin menghasilkan kenaikan daya, torsi, BMEP, dan termal efisiensi hingga penurunan sfc dan emisi gas buang, hal tersebut diklaim sebagai keuntungan dari penambahan gas HHO. Pada beberapa penelitian penggunaan generator gas HHO sebagai alat produksi gas HHO memiliki berbagai kendala seperti tingkat korosifitas elektroda yang digunakan dan tingkat termal konduktifitas, hal tersebut berimbas pada efisiensi generator HHO. Beberapa penelitian seperti Wardiyanto, Ghiffari, Nofriyandi dan Sudarmanta, dkk. telah melakukan penelitian secara eksperimental dengan batasan temperatur generator gas HHO dibawah titik didik air ( $98^{\circ}\text{C} \approx 371,15\text{ K}$ ). Temperatur generator gas HHO diatas titik didih air berakibat elektrolit yang didominasi air (*liquid*) berubah fase menjadi uap air. Hal tersebut berakibat volume fluida yang seharusnya tersusun dari 66,666% gas hidrogen dan 33,333% gas oksigen sebagian terpenuhi dengan uap air. Penurunan temperatur generator gas HHO dapat dilakukan dengan memvariasi elektroda, elektrolit, dan penambahan PWM. Pada penelitian sebelumnya telah melakukan penelitian generator gas HHO dengan memvariasikan PWM, elektrolit, dan luasan elektroda, tetapi dengan bahan elektroda yang sama yaitu *stainless steel (SS) 316* dan belum ada variasi bahan selain *stainless steel*.

Termal konduktifitas merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi perambatan temperatur pada bahan elektroda, yang terjadi saat pengoperasian generator gas HHO. Termal konduktifitas yang baik pada elektroda dibutuhkan untuk merambatkan panas dari temperatur elektrolit yang lebih tinggi ke lingkungan sehingga temperatur elektrolit dapat menurun. Titanium merupakan bahan metal yang memiliki nilai konduktifitas termal yang lebih tinggi dari SS 316 (Lutjering, 2007).

Material titanium berkarakter khusus ditinjau dari diagram pourbaix. Diagram pourbaix mengindikasikan terjadinya pembentukan dan perubahan karakter lapisan titanium terhadap elektrolit (asam/basa) pada proses elektrolisa. Kondisi yang ideal untuk elektrolisa dengan menggunakan titanium sebagai

elektroda, terjadi pada kondisi imun, kondisi imun merupakan kondisi material yang tidak terjadi reaksi pembentukan lapisan baru yang mengakibatkan penurunan proses elektrolisa.

Berdasarkan uraian tersebut, maka ingin diteliti pengaruh elektroda titanium pada generator gas HHO (GHHO) tipe *Dry Cell* dengan penambahan PWM bervariasi *duty cycle* 20%, 40%, 60%, dan 80%, dan tanpa penambahan PWM (*direct connection*). Gas produksi GHHO diaplikasikan pada sepeda motor untuk mengetahui unjuk kerja dan kadar emisi gas buang mesin. Penambahan gas HHO kedalam ruang bakar mesin melalui *intake manifold*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latarbelakang dirumuskan permasalahan pada penelitian yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari penggunaan elektroda titanium (grade 1) sebagai katoda, pada GHHO tipe *Dry Cell* terhadap unjuk kerja GHHO dengan penggunaan PWM bervariasi *duty cycle* 20%, 40%, 60%, & 80%, dan tanpa penggunaan PWM, dalam temperatur fluida kerja  $\leq 70^{\circ}\text{C}$  ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO yang diproduksi GHHO tipe *Dry Cell* dengan elektroda titanium (grade 1), terhadap unjuk kerja sepeda motor dan gas buang dengan membandingkan pemakaian bahan bakar bensin jenis PERTAMAX (RON 92), pada sepeda motor 4 langkah sistem bahan bakar injeksi merek Honda Tipe CB 150 R ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, dikarenakan terlalu luasnya cakupan permasalahan dalam penelitian ini, maka cakupan penelitian tersebut dipersempit dengan batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Seluruh alat ukur yang digunakan dalam keadaan standar dan RMS.
2. Hambatan (*losses*) dalam alat ukur (termometer (*data acquisition*), voltmeter, amperemeter, dinamometer (*water brake*), dan *flowmeter* diabaikan.

3. Unjuk kerja generator gas HHO :
  - a. Elektroda pada GHHO bermaterial Titanium (grade 1) dengan dimensi  $80 \times 80 \text{ mm}^2$ , ketebalan 1 mm, dan sebanyak 15 lembar, dengan kemurnian  $98,24 \pm 0,704 \%$  (LSM3,2016).
  - b. Spesifikasi PWM *Duty cycle* yang digunakan dalam pengujian adalah 20%, 40%, 60%, dan 80% dengan frekuensi 1 kHz.
  - c. Gasket (*seal*) yang digunakan tipe *O-ring* berbahan karet dengan dimensi  $\varnothing$  dalam = 70 mm dan tebal = 3 mm.
  - d. Mengabaikan *fitting losses* pada konektor dan saluran perpipaan generator gas HHO (GHHO)
  - e. Tidak membahas reaksi elektrolisa dan reaksi kimia yang terjadi pada GHHO.
  - f. Gas yang diproduksi diasumsikan bertemperatur  $30^\circ\text{C}$
  - g. Gas yang diproduksi diasumsikan betekanan 1 atm
4. Unjuk kerja mesin sepeda motor CB 150 R :
  - a. Kendaraan uji adalah sepeda motor Honda CB 150 R dalam keadaan standar.
  - b. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin jenis PERTAMAX dengan RON 92 (lampiran 4).
  - c. Bahan bakar gas hidrogen bernilai RON 130 (lampiran 6).
  - d. Pengaruh aliran udara dari blower diabaikan atau diasumsikan seperti saat berkendara
  - e. Pengaruh antara *roller dynamometer* dengan roda sepeda motor dianggap tidak terjadi *slip*
  - f. Hasil pengukuran torsi pada *dynamometer water brake* dinggap sesuai dengan torsi yang dihasilkan mesin.
  - g. Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan dengan volume bahan bakar setiap 25ml.

5. Kondisi temperatur dan kelembapan udara setempat (lingkungan) dianggap konstan
6. Pengujian GHHO dilakukan hingga temperatur elektrolit mencapai  $\leq 70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  atau waktu pengujian = 240 menit.
7. Studi eksperimen karakteristik dilakukan pada unjuk kerja generator gas HHO dengan indikasi :
  - a. Daya konsumsi generator gas HHO (watt)
  - b. Temperatur fluida pada generator gas HHO ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - c. Debit gas HHO  $\left(\frac{\text{liter}}{\text{menit}}\right)$
  - d. Laju produksi gas HHO  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$
  - e. Produksi gas HHO spesifik  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{J}}\right)$
  - f. Efisiensi generator gas HHO (%)
8. Studi eksperimen unjuk kerja dilakukan pada sepeda motor 150cc dengan indikasi :
  - a. Torsi pengereman-*BT* (N. m)
  - b. Daya pengereman-*BHP* (kW)
  - c. Tekanan efektif rerata pengereman-*BMEP* (kPa)
  - d. Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.jam)
  - e. Termal efisiensi  $\eta_{th}$  (%)
  - f. Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada blok mesin atas, blok mesin bawah, oli mesin, dan gas buang.
  - g. Emisi gas buang ;  $\text{CO}, \text{CO}_2, \text{O}_2$  (vol %) &  $\text{HC}$  (ppm vol)

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik dari penggunaan elektroda titanium (grade 1) sebagai katoda, pada GHHO tipe *Dry Cell* terhadap unjuk kerja GHHO dengan penggunaan PWM bervariasi *duty cycle* 20%, 40%, 60%, & 80%, dan tanpa penggunaan PWM, dalam temperatur fluida kerja  $\leq 70^{\circ}\text{C}$ .
2. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO yang diproduksi GHHO tipe *Dry Cell* dengan elektroda titanium (grade 1), terhadap unjuk kerja sepeda motor dan gas buang dengan membandingkan pemakaian bahan bakar bensin jenis PERTAMAX (RON 92), pada sepeda motor 4 langkah sistem bahan bakar injeksi merek Honda Tipe CB 150 R.

#### 1.5 Manfaat Hasil Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diharapkan ada beberapa manfaat yang dihasilkan dari penelitian bagi peneliti, institusi pendidikan dan pemerintahan. Manfaat yang diharapkan akan diperoleh adalah:

1. Bagi Peneliti  
Peneliti memperoleh ilmu dan perkembangan analisa tentang penelitian yang dilakukan, khususnya tentang karakteristik GHHO dan teknik pembakaran dan bahan bakar. Penelitian awal yang dilakukan peneliti diharapkan sebagai pemicu penelitian selanjutnya.
2. Bagi Institusi Pendidikan  
Penelitian GHHO menjadi penelitian (tesis) pertama di teknik mesin ITS dengan elektroda titanium dan diharapkan menjadi referensi untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya.
3. Bagi Institusi Pemerintahan  
Penelitian ini diharapkan menjadi alternatif pengurangan konsumsi bensin sebagai bahan bakar sepeda motor serta diharapkan dengan adanya penurunan konsumsi bahan bakar minyak (bensin) dapat mengurangi beban APBN terhadap subsidi bahan bakar minyak (bensin) sehingga subsidi dapat disalurkan ke sektor lain seperti pembangunan dan pendidikan.

## 1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah *laboratory experimental* yaitu penelitian dilakukan dengan menguji unjuk kerja generator gas HHO (GHHO) hingga memproduksi gas HHO dan mengetahui karakteristik generator gas HHO (GHHO) tersebut, tahap berikutnya dilakukan penelitian *laboratory experimental comparasion* yaitu penelitian yang dilakukan dengan menguji penambahan gas HHO sebagai bahan bakar sekunder dan bahan bakar pertamax sebagai bahan bakar primer (pembanding/standar) pada mesin sepeda motor hingga diketahui karakteristik mesin sepeda motor secara laboratorium.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

### 1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat hasil penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan beberapa dasar teori dan hasil penelitian sebelumnya.

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bagian ini diuraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang digunakan saat pengujian & pengukuran, cara pengujian & pengukuran, data yang ditetapkan, diukur & dihitung, skema pengujian, dan rencana dan jadwal kerja penelitian dan penyusunan tesis.

### 4. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini diuraikan perhitungan dari data yang terukur dalam tampilan grafik dan dilakukan pembahasan dari data tersebut.

### 5. BAB V KESIMPULAN

Pada bagian ini diuraikan kesimpulan dari hasil data yang dihasilkan dari pengukuran maupun perhitungan. Dan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2. 1 Tinjauan Pustaka

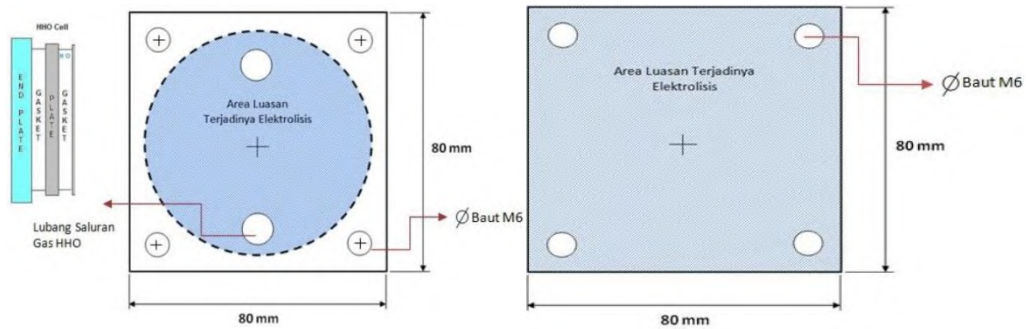
Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan generator gas HHO (GHHO) dengan penggunaan elektroda *stainless steel* (SS 316), penambahan KOH pada elektrolit, variasi *duty cycle* dengan PWM dan pengaplikasian gas HHO pada mesin pembakaran dalam. Penambahan gas HHO pada “pembakaran dalam” mesin sebagai penyubsitusi volume udara sehingga menghasilkan kenaikan torsi, daya, efisiensi termal mesin serta menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi penelitian, antara lain terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No.	Judul Penelitian	Peneliti
1	Studi karakteristik generator gas HHO tipe <i>dry cell</i> dan <i>Wet Cell</i> berdimensi 80 x 80 mm dengan penambahan PWM E-3 FF frekuensi 1 kHz	Ghiffari A. Yanuar. (2013)
2	<i>Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines</i>	Musmar. Sa’ed A. dan Al-Rousan Ammar A. (2011)
3	<i>Application of dry cell HHO gas generator with pulse width modulation On sinjai spark Ignition engine performance</i>	Sudarmanta B., Darsopuspito S., dan Sungkono D. (2016)



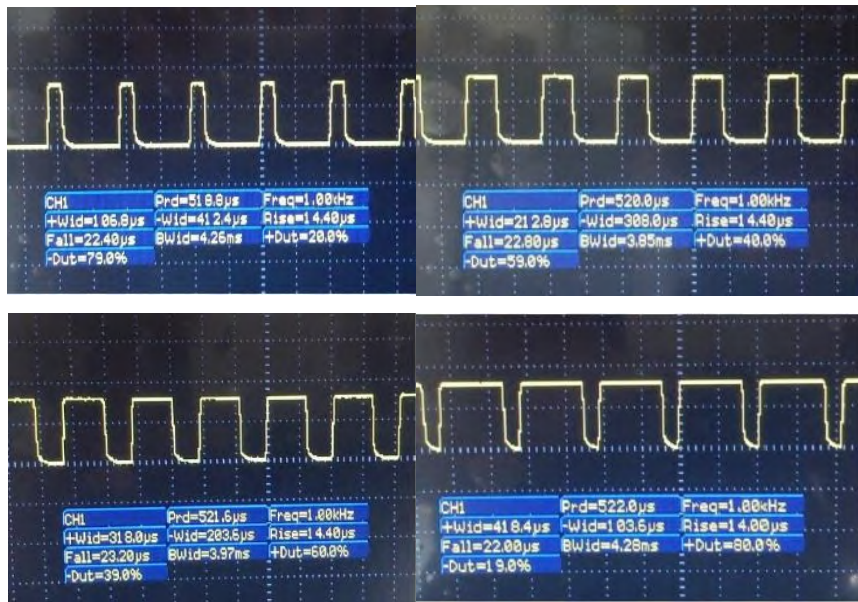
**Ghiffari A. Yanuar. (2013)** telah melakukan penelitian studi karakteristik generator gas HHO tipe *duty cell* dan *wet cell* berdimensi 80 x 80 mm (terlihat pada gambar 2.1) dengan penambahan PWM E-3 FF frekuensi 1 kHz (terlihat pada Gambar 2.2).



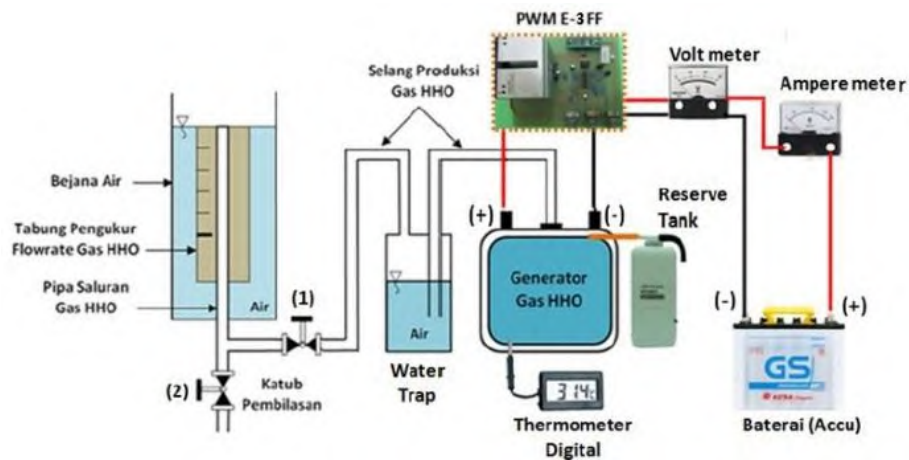
Gambar 2.1 Dimensi elektroda (kiri ke kanan) *Dry Cell* dan *Wet Cell* (Ghiffari,2013)



Gambar 2.2 PWM E-3 FF frekuensi 1 kHz (Ghiffari,2013)



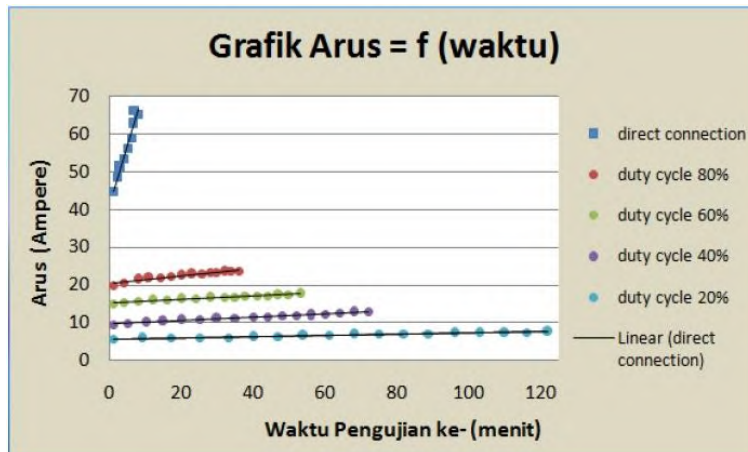
Gambar 2.3 Variasi *Duty cycle* 20%, 40%, 60%, dan 80% (kiri atas-kanan bawah) (Ghiffari,2013).



Gambar 2.4 Skema pengujian alat dengan PWM (Ghiffari,2013).

Penelitian bertujuan untuk mengkarakteristik GHHO tipe *wet cell* dan *dry cell*. Variasi yang digunakan secara tanpa penambahan (*direct*) dan penambahan PWM. *duty cycle* pada PWM divariasi 20%, 40%, 60%, dan 80% (terlihat pada Gambar 2.3). Dihasilkan efisiensi tertinggi yaitu 27% generator tipe *dry Cell* dengan penambahan PWM 80%. Pengukuran dilakukan dengan penggunaan fungsi waktu dengan batasan temperatur elektrolit GHHO sebesar  $\leq 70^{\circ}\text{C}$ .

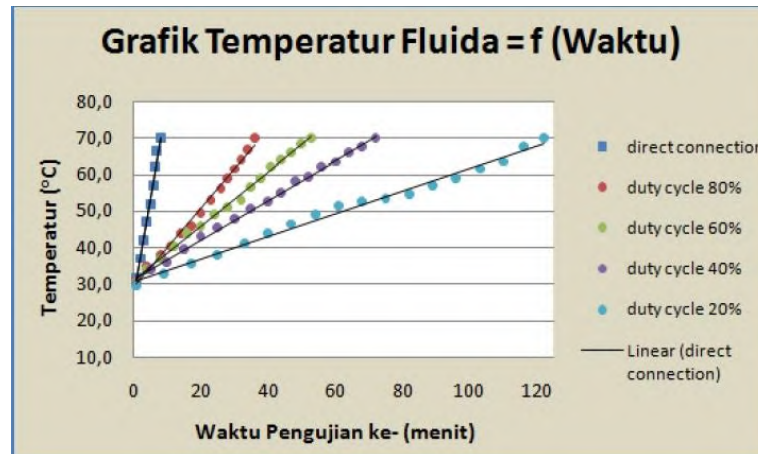
Elektroda yang digunakan berbahan *stainless steel* SS 316. Skema pengujian generator gas HHO (GHHO) terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Arus generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

Proses elektrolisa tidak lepas dari energi listrik. Energi listrik didefinisikan sebagai arus dan tegangan. Arus listrik merupakan jumlah muatan listrik yang mengalir pada luasan tertentu. Muatan listrik mengalir karena adanya perbedaan potensial. Muatan listrik mengalir dari potensial yang lebih tinggi ke potensial lebih rendah. Semakin tinggi beda potensial yang terjadi, maka akan semakin besar energi listrik yang mengalir dalam bentuk kuantitas arus dan tegangan listrik. Pada proses elektrolisa aliran energi listrik terjadi pada keseluruhan rangkaian. Perbedaan potensial terbesar terjadi antar elektroda dan elektrolit. Semakin besar hambatan pada elektroda dan elektrolit mengakibatkan perbedaan potensial yang lebih tinggi. Kenaikan arus drastis (42,56%-65,35%) terlihat pada Gambar 2.5 *direct connection* pada waktu pengujian 8 menit. Hal tersebut terjadi karena tidak ada pengontrol arus dan tegangan listrik (PWM) sehingga terjadi kenaikan arus yang signifikan. Penggunaan PWM menghasilkan kenaikan kurva arus fungsi waktu yang lebih landai. Hal tersebut mengakibatkan waktu pengujian lebih lama dibanding *direct connection*. *Duty cycle* 20% mengalami waktu paling lama dengan arus dibawah 10 A. Pada *Duty cycle* 40%

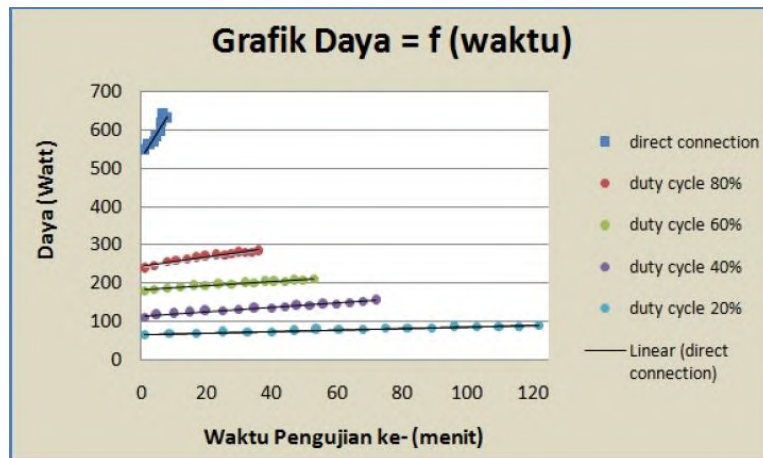
arus listrik awal sekitar 20A sehingga berhenti pengujian pada waktu 40 menit dengan arus dibawah 30A.



Gambar 2.6 Grafik temperatur generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

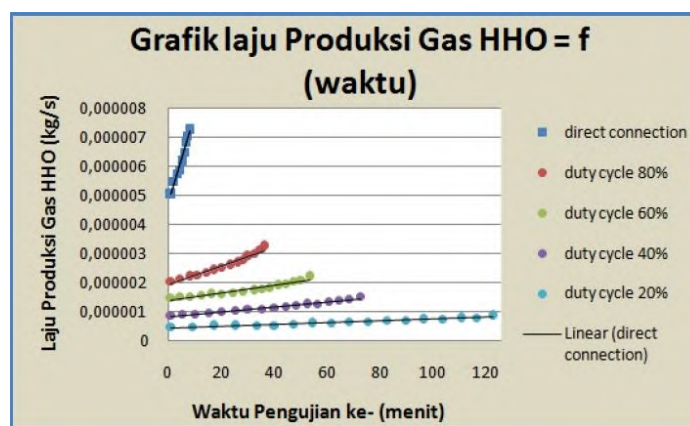
Kenaikan kurva yang drastis terjadi pada GHHO *direct connection* hal ini dipengaruhi arus listrik yang mengalir pada GHHO semakin besar dengan bertambahnya waktu. Kenaikan temperatur juga terjadi disemua variasi *duty cycle*. Kenaikan temperatur linier terhadap kenaikan arus listrik yang mengalir melewati rangkaian kelistrikan GHHO. Kebutuhan waktu pengujian paling lama hingga 120 menit terjadi pada *duty cycle* 20%. Dan waktu pengujian hingga 40 menit terjadi pada *duty cycle* 80% terlihat pada Gambar 2.6.

Daya yang dibutuhkan generator terhadap fungsi waktu dihitung dari arus dan tegangan listrik yang terukur. Terlihat pada Gambar 2.7 berupa kenaikan konsumsi daya listrik pada GHHO terhadap waktu pengujian.



Gambar 2.7 Grafik daya terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

Daya dihasilkan dari perhitungan tegangan rerata yang konstan (12 volt) dengan arus listrik yang meningkat disetiap waktu pengujian, dihasilkan *trend* kenaikan kurva yang hampir sama seperti Gambar 2.5. Kebutuhan daya yang tertinggi terjadi pada *direct connection* dan kebutuhan daya terendah dan waktu pengujian yang paling lama terjadi pada variasi *duty cycle* 20%. Kebutuhan daya dengan waktu pengujian hingga 40 menit terjadi pada *duty cycle* 80%.

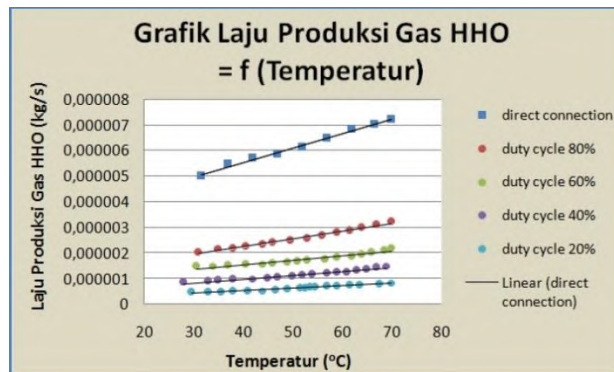


Gambar 2.8 Grafik laju produksi gas HHO terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

Terlihat pada Gambar 2.8 variasi *duty cycle* 20% dihasilkan laju produksi gas terendah yaitu  $0,84684 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$  dengan waktu pengujian paling lama

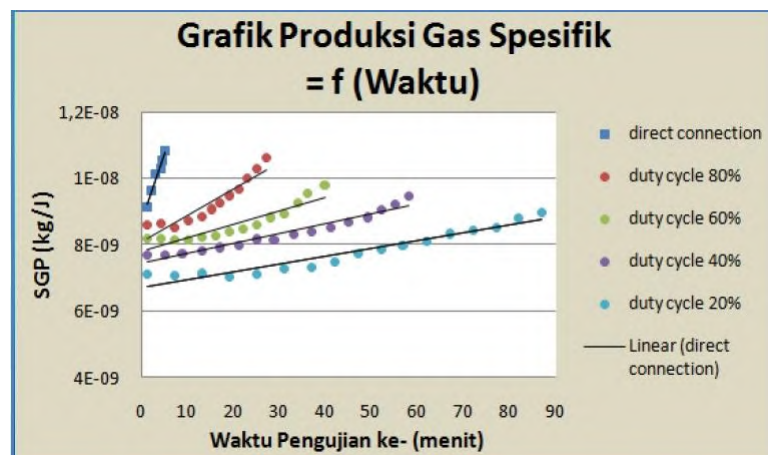


mencapai 112 menit. Pada *duty cycle* 80% terjadi laju produksi gas HHO tertinggi  $6,5 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$  dengan waktu pengujian terendah setelah *direct connection*.



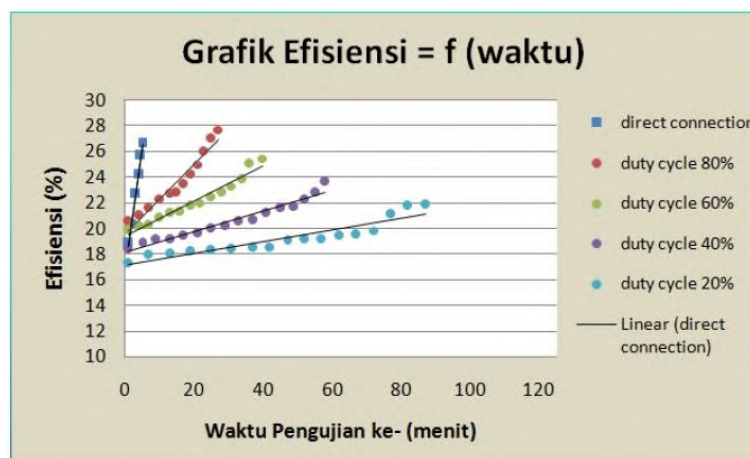
Gambar 2.9 Grafik laju produksi gas HHO terhadap fungsi temperatur (Ghiffari,2013).

Kenaikan temperatur dengan penggunaan PWM lebih landai dibandingkan tanpa PWM terlihat pada Gambar 2.9. Kenaikan lebih curam diakibatkan konsumsi daya yang besar pada *direct connection*. Penggunaan PWM dengan *Duty cycle* 20% dihasilkan nilai dibawah  $0,000001 \text{ kg/s}$ . Produksi dengan penambahan PWM variasi *Duty cycle* 80% dihasilkan nilai tertinggi dibandingkan variasi *Duty cycle* lainnya, yaitu diatas  $0,000003 \text{ kg/s}$ .



Gambar 2.10 Grafik produksi gas spesifik terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

Nilai produksi gas spesifik (*SGP*) terlihat pada Gambar 2.10 dipengaruhi oleh peningkatan laju produksi dari GHHO dan peningkatan arus listrik yang digunakan pada konsumsi daya GHHO. Tanpa penambahan PWM atau *direct connection* dihasilkan nilai produksi gas spesifik (*SGP*) mencapai  $0,9149 \times 10^{-8} - 1,145 \times 10^{-8} \text{ kg/J}$ . Pada *Duty cycle* 20% dihasilkan nilai *SGP*  $0,9347 \times 10^{-8} \text{ kg/J}$ . Nilai *SGP* tertinggi dengan penambahan PWM dihasilkan *Duty cycle* 80% sebesar  $1,141 \times 10^{-8} \text{ kg/J}$ .

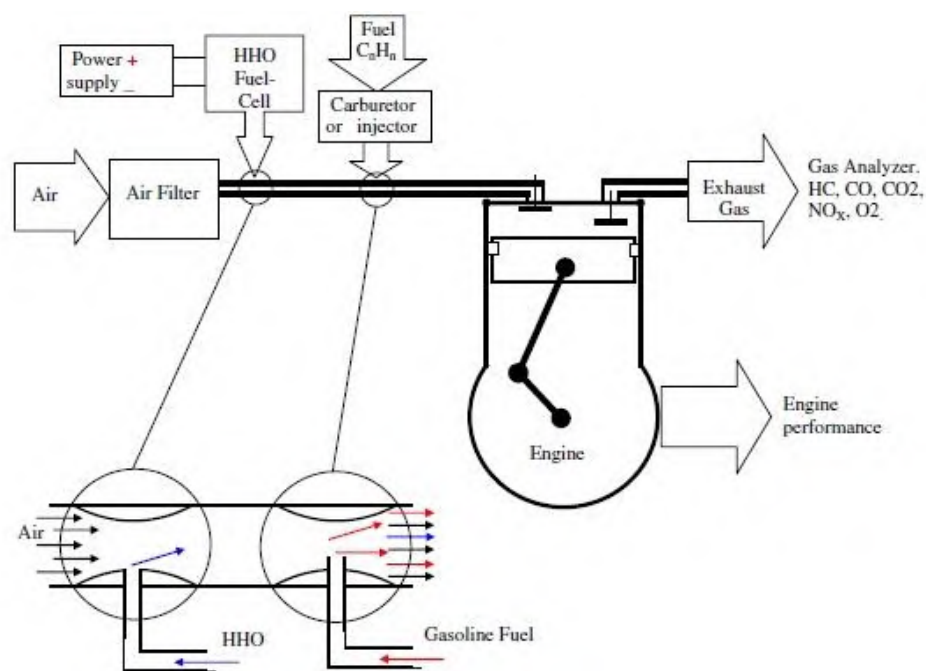


Gambar 2.11 Grafik efisiensi generator terhadap fungsi waktu (Ghiffari,2013).

Efisiensi GHHO dihasilkan dari perbandingan nilai entalpi gas HHO disetiap mol-nya dengan daya listrik yang digunakan untuk elektrolisis. Nilai efisiensi GHHO dipengaruhi oleh perubahan entalpi total disuatu sistem reaksi (reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik) yang terjadi pada temperatur 298 K dan bertekanan 1 atm. Nilai entalpi bernilai tetap jika tidak terjadi penambahan dan pengurangan jumlah energi dari zat. Perubahan nilai kalor atau entalpi terjadi selama proses penerimaan dan pelepasan kalor dinyatakan dengan perubahan entalpi ( $\Delta h$ ). Reaksi yang terjadi pada GHHO (sistem) merupakan reaksi endoterm. Reaksi endoterm adalah penyerapan panas dari dari lingkungan ke sistem. Temperatur dari campurn reaksi menurun dan energi potensial dari zat-zat kimia yang berhubungan meningkat. Gambar 2.11 terlihat peningkatan efisiensi GHHO terhadap fungsi waktu. Efisiensi tertinggi yaitu 20-27%

dihasilkan GHHO *duty cycle* 80% dan efisiensi terendah yaitu 17-22% terjadi pada *duty cycle* 20%.

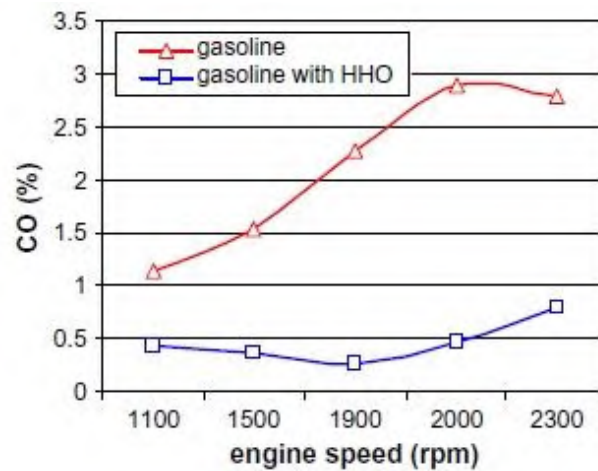
Musmar. Sa'ed A. dkk. (2011) melakukan penelitian tentang efek gas HHO pada emisi pembakaran mesin bensin. Pengujian dilakukan pada mesin Honda G200 197cc. Variasi kecepatan putaran mesin (1000-2300 rpm) digunakan pada penelitian ini. Gas HHO ditambahkan pada mesin melalui *intake manifold*, terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skematik eksperimental penambahan gas HHO di saluran udara dan bahan bakar (Musmar,2011).

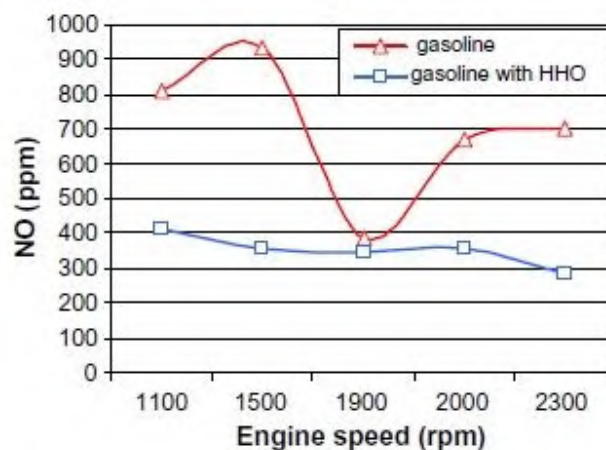
Gas HHO ditambahkan melalui saluran udara dan bahan bakar sesudah *filter* udara. Aliran gas HHO bercampur bensin setelah melewati saluran bensin. Penambahan gas HHO pada mesin menghasilkan peningkatan nilai oktan. Nilai oktan (RON) adalah kemampuan bahan bakar terkompresi didalam ruang bakar sebelum terjadi pengapian. Gas buang dihasilkan dari pembakaran berupa  $HC, CO, CO_2, NO_x, \& O_2$ .





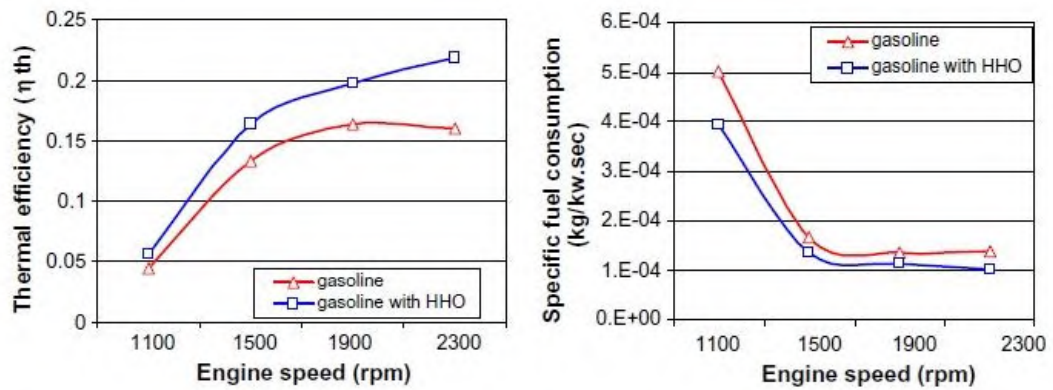
Gambar 2.13 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan *CO* di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Penambahan gas HHO pada mesin mempengaruhi *AFR*. Kandungan *CO* pada gas buang dipengaruhi oleh *AFR*. Penurunan yang signifikan terjadi pada kandungan gas *CO* di gas buang. Kandungan gas *CO* yang dihasilkan dari pembakaran bensin lebih tinggi dibanding dengan penambahan gas HHO terlihat pada Gambar 2.13.



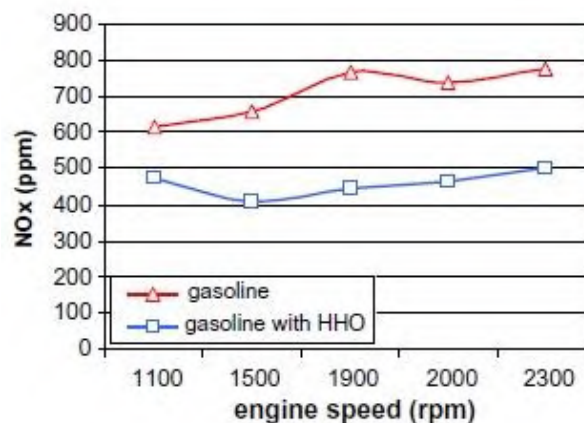
Gambar 2.14 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan *NO* di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Penurunan nilai *NO* pada emisi gas buang dengan penambahan gas HHO saat pembakaran diruang bakar terlihat pada Gambar 2.14.



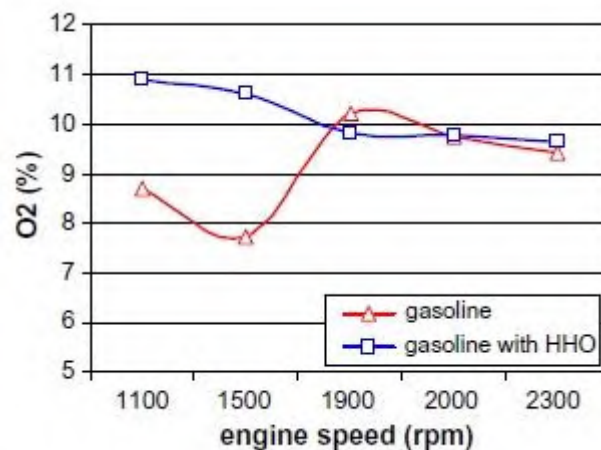
Gambar 2.15 Grafik efek penggunaan gas HHO pada efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Pada Gambar 2.15 termal efisiensi terjadi kenaikan dan konsumsi bahan bakar spesifik terjadi penurunan saat penambahan gas HHO. Konsumsi bahan bakar spesifik menurun dikarenakan ada penyubsitusi bahan bakar berupa gas HHO terhadap volume udara pada ruang bakar. Prosentasi energi bahan bakar yang dibutuhkan dan yang dihasilkan terlihat pada Gambar 2.15 efisiensi lebih tinggi.



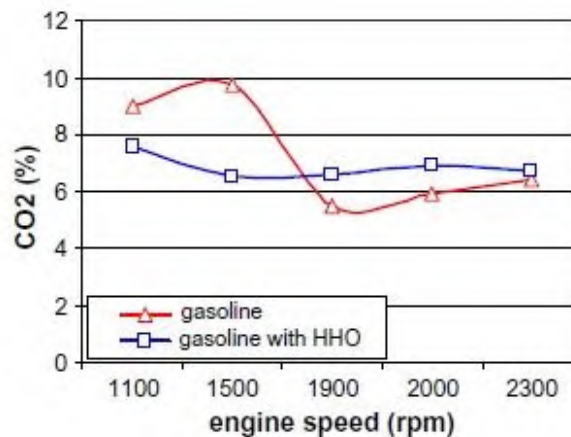
Gambar 2.16 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan NOx di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Penambahan gas HHO pada proses pembakaran diruang bakar dihasilkan penurunan nilai NOx. Nilai NOx yang tinggi diindikasikan terjadi pembakaran dengan temperatur dan tekanan yang tinggi diruang bakar. Penurunan temperatur signifikan mengakibatkan produksi gas NOx lebih rendah saat terjadi penambahan gas HHO pada mesin seperti terlihat pada Gambar 2.16.



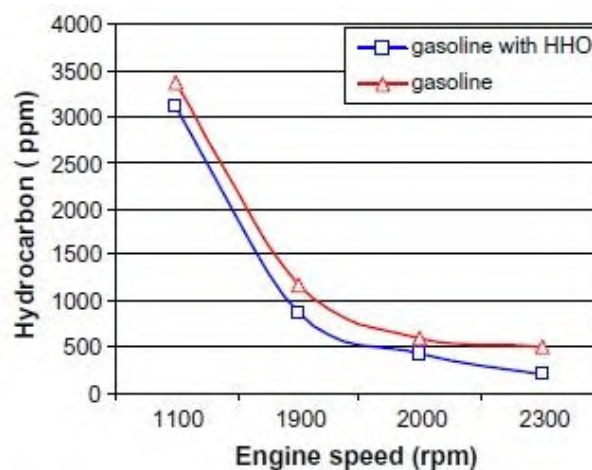
Gambar 2.17 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan oksigen di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Kandungan oksigen yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar bensin lebih rendah dibandingkan kandungan oksigen yang dihasilkan dari penambahan gas HHO. Penambahan gas HHO dihasilkan kenaikan 20% kandungan oksigen pada kecepatan putaran mesin diatas 1900 rpm.



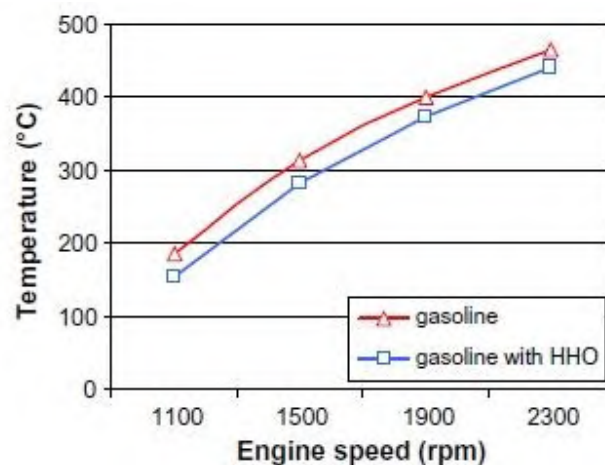
Gambar 2.18 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan karbondioksida di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Karbondioksida ( $CO_2$ ) merupakan hasil dari pembakaran sempurna pada Gambar 2.18 terjadi perbedaan konsentrasi yang tertinggi pada rpm 1500 dan selanjutnya pada rpm 1900 hingga 2300 hampir saling berhimpitan. Penambahan gas HHO prosentasi dari rpm 1100 hingga 2300 cenderung stabil antara 6-8%. Penambahan gas HHO dihasilkan kenaikan 20% kandungan  $CO_2$  pada kecepatan putaran mesin diatas 1900 rpm.



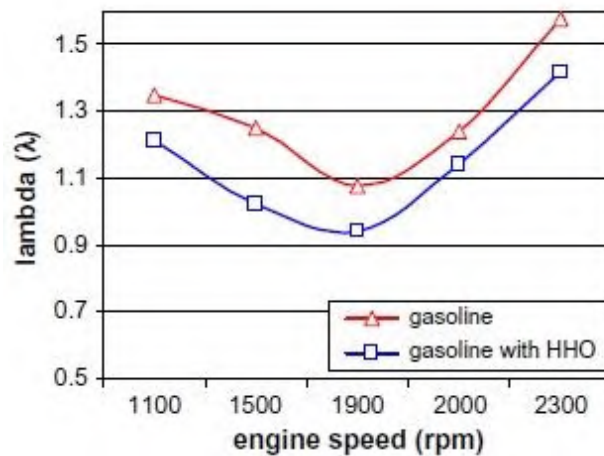
Gambar 2.19 Grafik efek penggunaan gas HHO pada kandungan hidrokarbon di gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Hidrokarbon (*HC*) merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan bahan bakar yang tidak terbakar. kandungan bahan bakar yang tidak terbakar pada gas buang menghasilkan peningkatan kandung *HC*. Pada kecepatan putaran mesin 2300 rpm terjadi penurunan kadar *HC* hingga 40% dengan penambahan gas HHO terlihat pada Gambar2.20.



Gambar 2.20 Grafik efek penggunaan gas HHO pada temperatur gas buang terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Efek penggunaan gas HHO pada pembakaran menurunkan temperatur di gas buang dibandingkan tanpa ada penambahan gas HHO terlihat pada Gambar 2.20. Penurunan kandungan *NO* & *NO<sub>x</sub>* dihasilkan dari penurunan temperatur gas buang terlihat pada Gambar 2.16.



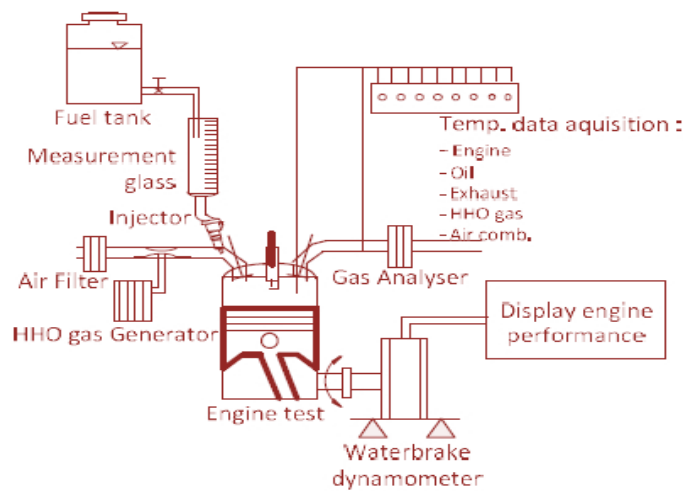
Gambar 2.21 Grafik efek penggunaan gas HHO pada lamda ( $\lambda$ ) terhadap variasi kecepatan putaran mesin (Musmar,2011).

Penurunan terjadi pada nilai  $\lambda$  terhadap kecepatan putaran mesin. Nilai  $\lambda$  dihasilkan dari perhitungan nilai A/F teori dibanding A/F aktual. Nilai  $\lambda$  pada penggunaan bahan bakar bensin lebih tinggi dibandingkan nilai  $\lambda$  dengan penambahan gas HHO terlihat pada Gambar 2.21.

Penelitian tentang efek gas HHO terhadap emisi pembakaran pada mesin bensin dihasilkan penurunan kandungan  $NO$  &  $NO_x$  hingga 50% diakibatkan terjadi penurunan temperatur gas buang. Kandungan  $CO$  pada gas buang mengalami penurunan hingga 20%. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik yaitu 20-30% diakibatkan karena terjadi kenaikan pada efisiensi termal.

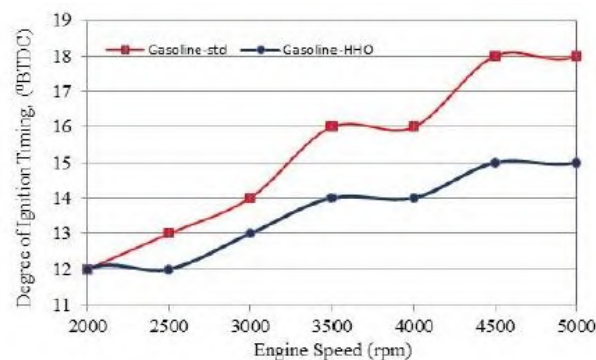
**Sudarmanta S., dkk (2016)** telah melakukan penelitian tentang aplikasi *dry cell* generator gas HHO (GHHO) dengan PWM pada mesin sinjai pengapian busi telah dilakukan oleh Sudarmanta, dkk. Pengaplikasian GHHO tipe *dry cell* pada mesin sinjai sistem suplai bahan bakar *port injection*, 2 silinder 650 cc. Variasi *duty cycle* PWM yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% (tanpa PWM). Parameter yang dihitung spesifik energi masukan, efisiensi, dan temperatur GHHO, daya, BMEP, spesifik konsumsi bahan bakar, dan efisiensi termal. Parameter yang diukur dari pengaplikasian GHHO pada mesin sinjai yaitu torsi, temperatur dan laju konsumsi bahan bakar. Aplikasi GHHO pada mesin sinjai dengan waktu pengapian standar dihasilkan torsi, daya, BMEP, dan efisiensi

termal berurutan 2,27%, 2,76%, 3,05%, terjadi penurunan konsumsi bahan bakar spesifik 7,76%. Perubahan waktu injeksi bahan bakar menghasilkan kenaikan unjuk kerja mesin sinjai pada torsi, daya, efisiensi termal, berurutan 6,55%, 7,65%, 15,50% dan terjadi penerunan konsumsi bahan bakar spesifik 22,06%. Skema pengujian terlihat pada Gambar 2.22



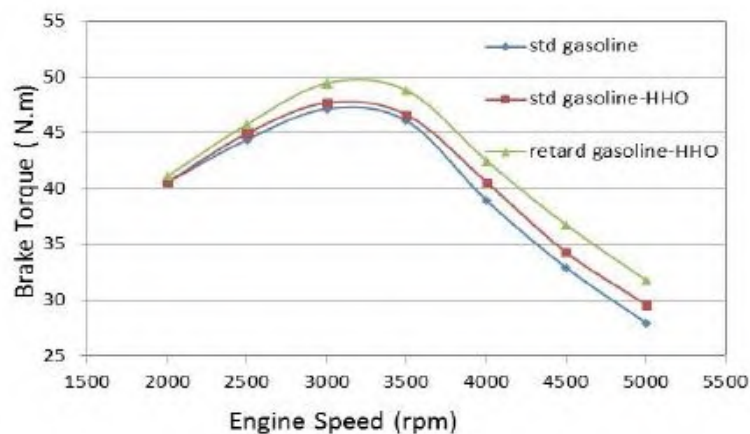
Gambar 2.22 Skematik pengujian mesin (Sudarmanta,2016).

Pengujian unjuk kerja mesin sinjai menggunakan dinamometer tipe *waterbrake*. Pengukuran temperatur dilakukan pada mesin, oli mesin, gas buang, GHHO, dan udara.



Gambar 2.23 Waktu pengapian terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

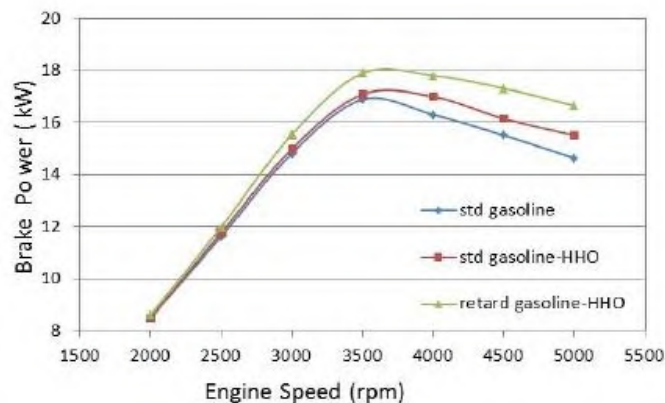
Variabel unjuk kerja mesin sinjai pada kecepatan putaran mesin 2000-5000 rpm, *interval* 500rpm. Derajat waktu pengapian diawali pada titik mati bawah (TMB) sudut  $12^\circ$ . Pada kecepatan putaran mesin 5000 rpm derajat waktu pengapian dihasilkan  $15^\circ$  dengan penambahan GHHO, relatif konstan dari kecepatan putaran mesin 4500 rpm terlihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.24 Grafik torsi pengereman terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

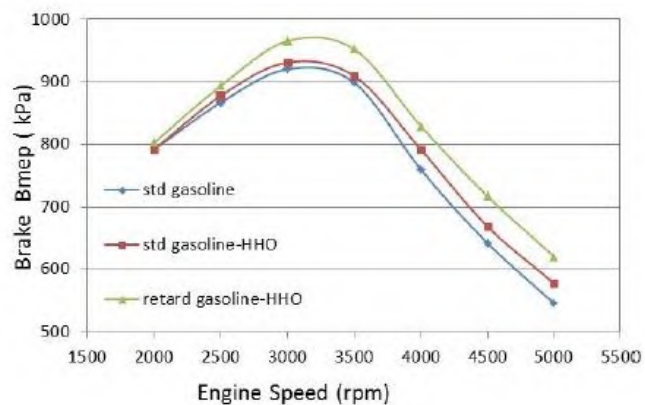
Kenaikan torsi terjadi pada kecepatan putaran mesin 3000-3500 rpm. Penurunan torsi pada kecepatan putaran mesin 5000 rpm. Peningkatan aliran turbulen ke dalam ruang bakar mesin diakibatkan kenaikan kecepatan putaran mesin sehingga berakibat pada campuran bahan bakar dengan udara dan *fire propagation*. Penambahan gas HHO pada ruang bakar mesin meningkatkan torsi dibandingkan tanpa penggunaan gas HHO dan terjadi kenaikan torsi tertinggi setiap rpm pada penambahan gas HHO dan pengavariasian pengapian terlihat pada Gambar 2.24.





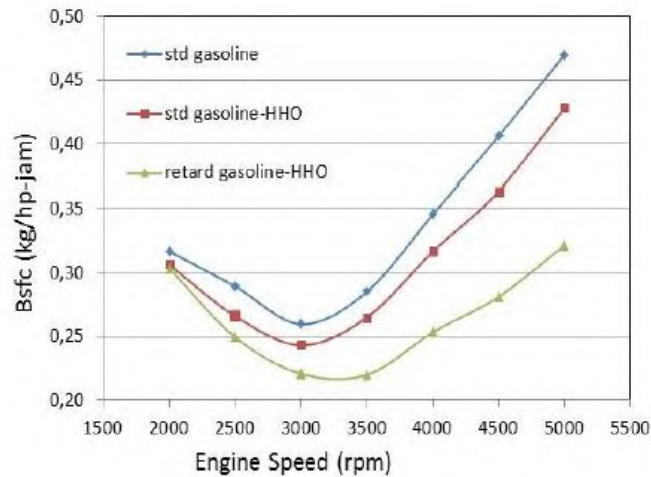
Gambar 2.25 Grafik daya pengereman terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

Efek penambahan gas HHO ke ruang bakar mesin berakibat kenaikan daya. Daya tertinggi dengan penambahan gas HHO terjadi pada kecepatan putaran mesin 3500 rpm terlihat pada Gambar 2.25.



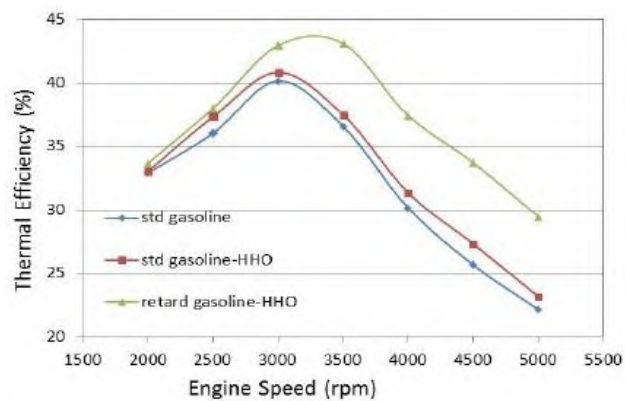
Gambar 2.26 Grafik *BMEP* terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

Pola kurva pada grafik *BMEP* terhadap kecepatan putaran mesin dengan penambahan gas HHO terlihat pada Gambar 2.26 mengalami kesamaan dengan grafik torsi dan daya.



Gambar 2.27 Grafik konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

Konsumsi bahan bakar spesifik terendah terjadi pada kecepatan putaran mesin 3000-3500 rpm. Nilai *Sfc* dengan penambahan gas HHO lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin terlihat pada Gambar 2.27.



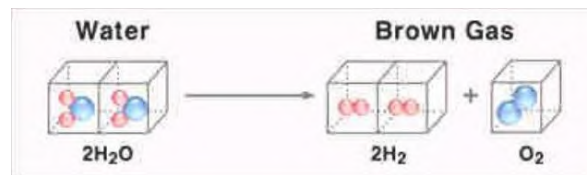
Gambar 2.28 Grafik efisiensi termal terhadap kecepatan putaran mesin (Sudarmanta,2016).

Efisiensi termal yang dihasilkan dengan penggunaan bahan bakar bensin dan penambahan gas HHO pada keadaan standar relatif bersinggungan. Variasi waktu pengapian dengan penambahan gas HHO menghasilkan efisiensi yang tertinggi. Puncaknya terjadi pada kecepatan putaran mesin 3000-3500 rpm.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Gas HHO (*Brown Gas*)

Air dalam bentuk cairan dipecah atau dipisahkan molekul hidrogen dan oksigen dengan menggunakan proses. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air murni (aquades) adalah gas hidrogen dan gas oksigen, terdiri dari komposisi 2 hidrogen dan 1 oksigen. Hasil proses elektrolisis air dikenal dengan gas HHO atau *Brown gas*.



Gambar 2.29 Pemecahan molekul air menjadi gas HHO (Ghiffari, 2013)

Tahun 1805 Isaac de rivaz (1752-1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil proses elektrolisa sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama *Brown gas*. Selain digunakan sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan *brown gas* untuk pengelasan (*cutting and welding torch*).

### 2.2.2 Mesin Hidrogen

Pada tahun 1820 W. Cecil mempublikasikan bahwa hydrogen telah digunakan di mesin sebagai bahan bakar pada penelitian berjudul *On the application of hydrogen gas to produce moving powerin machinery*. Mesin beroperasi dengan prinsip kevakuman ruang bakar, dengan tekanan atmosfer mendorong torak kembali keadaan vakum untuk memproduksi tenaga. kevakuman dihasilkan pembakaran gas hidrogen bercampur udara (Lanz,2001).

Enam tahun kemudian, selama penelitian tentang mesin pembakaran pada tahun 1860-an dan 1870-an, N.A.Otto (penemu siklus otto) melaporkan penggunaan penghasil gas sintetik untuk bahan bakar, dengan menggunakan gas hidrogen diatas 50%. Eksperimen dilakukan pada mesin bensin, ditemukan

bahaya pada eksperimen dengan penggunaan bahan bakar bensin sehingga digunakan bahan bakar gas. Pengembangan karburator menjadi era baru bagi bensin yang dipergunakan untuk bahan bakar serta lebih aman, dan mengakibatkan minat penggunaan bahan bakar lainnya menurun. (Lanz,2001). Pada tahun 1895 beberapa bentuk alat telah dipasarkan untuk menyediakan hidrogen dan oksigen dari elektrolisa air. Kebutuhan terbesar penggunaan api dari gas oksigen-hidrogen pada pengelasan dan juga proses metalurgi yang menggunakan temperatur tinggi untuk melelehkan metal seperti platinum (J.Hale,1919).

Ditahun-tahun akhir, perhatian untuk udara yang bersih, bersamaan dengan ketatnya peraturan tentang polusi udara dan keinginan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil menghidupkan kembali minat pada hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan (Lanz,2001).

### **2.2.3 Generator gas HHO (GHHO)**

Generator gas HHO merupakan alat untuk memproduksi gas HHO. Komponen penting GHHO adalah elektroda, elektrolit, dan arus listrik. Elektroda digunakan sebagai penghantar arus listrik, elektroda yang bersifat konduktif, bahan metal memiliki nilai aplikasi yang lebih karena bersifat konduktor, elektroda yang digunakan minimal berjumlah 1 pasang (anoda & katoda). Air (aquades) digunakan pada GHHO sebagai bahan elektrolisa ,serta berfungsi penghantar arus listrik antar elektroda, elektrolit merupakan air dengan penambahan katalisator. Kebutuhan energi potensial elektrolisa di dari arus listrik, arus listrik yang digunakan adalah tegangan searah (DC).

### **2.2.4 Elektrolisis**

Elektrolisis adalah suatu proses pemisahan senyawa kimia menjadi unsur panduannya atau memproduksi suatu molekul baru dengan penambahan energi dalam bentuk arus listrik. Elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air ( $H_2O$ ) menjadi molekul hidrogen dan oksigen dalam bentuk gas. Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (katoda dan anoda), proses tersebut membutuhkan waktu tertentu. Penambahan katalis dalam larutan

air selanjutnya disebut elektrolit, berfungsi mempercepat proses elektrolisis sehingga memperpendek kebutuhan waktu. Berikut merupakan persamaan kesetimbangan reaksi elektrolisa air

- reaksi oksidasi di anoda :  $2 H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$
- reaksi reduksi di katoda :  $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$
- reaksi keseluruhan :  $2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$

katalis yang digunakan dalam elektrolisis ada 3 jenis, basa, asam, dan asam basa. Untuk larutan basa dicontohkan dengan penggunaan katalis KOH, NaOH dan sebagainya. Larutan asam menggunakan katalis  $H_2SO_4$  pada elektrolit. Adapun jenis larutan asam basa dihasilkan dari campuran katalis NaCl (garam), KCl, dan  $Na_2CO_3$ . Tipikal beberapa katalis terlihat pada Tabel 2.2.

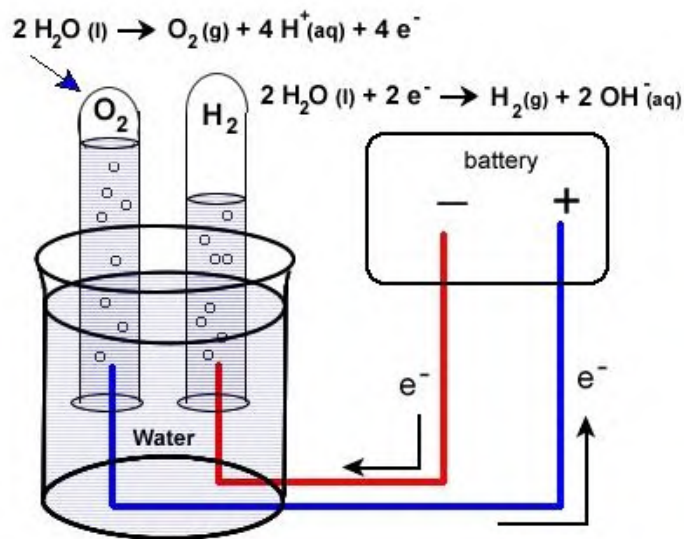
Tabel 2.2 Jenis katalis terhadap konduktifitas pada temperatur  $298K \cong 24.85^\circ C$

Jenis katalis	$\kappa/\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$		
	$0,1 mol dm^{-3}$	$1 mol dm^{-3}$	$10 mol dm^{-3}$
NaCl (garam)	0,011	0,086	0,247
KOH (basa)	0,025	0,223	0,447
<b><math>H_2SO_4</math></b> (asam)	0,048	0,246	0,604

Sumber: Pletcher, 1990

Larutan basa merupakan elektrolit yang sering digunakan pada GHHO karena sifatnya yang lebih rendah laju korosifitasnya dibanding dengan larutan asam. Pada reaksi basa, terjadi reaksi reduksi pada katoda, molekul air mengikat elektron ( $e^-$ ) sehingga terpecah menjadi gas hidrogen  $H_{2(g)}$  dan anion ( $OH^-$ ). Anion ( $OH^-$ ) kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen  $O_{2(g)}$  dan molekul  $H_2O_{(l)}$ , terlihat pada Gambar 2.30 dan persamaan reaksi kimia berikut;

- reaksi reduksi di katoda :  $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$
- reaksi oksidasi di anoda :  $4OH^-_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$
- reaksi keseluruhan :  $2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$



Gambar 2.30 Rangkaian dasar sistem elektrolisa (Nofriyandi,2014)

Elektrolisa air reaksi asam, basa atau asam basa menghasilkan produk berupa 2 mol  $\text{H}_2\text{O}$  terdiri dari 2 mol gas hidrogen dan 1 mol gas oksigen. Produk elektrolisa berupa gas hidrogen dihasilkan dari elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan dari elektroda positif (anoda).

### 2.2.5 Elektroda

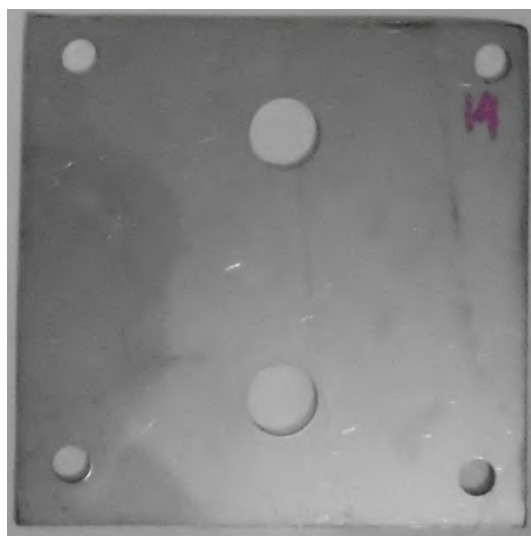
Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber listrik menuju elektrolit. Bahan metal digunakan sebagai elektroda secara umum dari tinjauan pustaka sebelumnya digunakan metal jenis *stainless steel* (SS 316) terlihat pada Gambar 2.31. Parameter yang digunakan dalam pemilihan SS 316 selain ketahanan korosifitas, juga mempertimbangkan parameter harga dan ketersediaannya. Kandungan nikel pada SS 316 memperlambat laju korosi. Hasil oksidasi nikel bersifat racun dan berbahaya bagi lingkungan. Nilai konduktifitas termal dan hambatan listrik material juga menjadi parameter yang digunakan untuk memilih SS 316 sebagai elektroda. Pada penelitian yang akan dilakukan digunakan elektroda berbahan selain SS 316. Pemilihan material titanium sebagai elektroda juga dipengaruhi beberapa parameter. Titanium (ASTM gr.1) & SS 304 (terlihat pada tabel 2.3) memiliki nilai konduktifitas termal lebih tinggi dibanding SS 316 (Brian,...). Pada kemampuan hambatan listrik material titanium memiliki

nilai yang lebih rendah dibandingkan SS 316 & SS 304. Adapun parameter tingkat korosifitas titanium lebih tinggi dibanding dengan SS dengan bahan pengkorosi berupa KOH. Terlihat pada Tabel 2.3 beberapa perbandingan antara material SS 316 dengan Titanium gr.1 terhadap sifat korosi, konduktivitas dan hambatan listrik.

Tabel 2.3 Perbandingan material *Stainless steel* SS 316 dengan Titanium gr.1

Material	<i>Stainless steel</i> SS316	<i>Stainless steel</i> SS304	Titanium gr.1
Densitas ( $gr/cm^3$ )	8,00	7,9	4,51
Komposisi (%)	61,9 Fe (min), 0,08 C, 17,0 Cr, 12,0 Ni, 2,4 Mo, 2,0 Mn	0,08 C, 2,00 Mn, 1,00 Si, 18,00-20,00 Cr, 8,00-10,5 Ni, 0,045 P, 0,03 S.	99,5 Ti (min)
Konduktivitas termal (W/m.K)	15,9	16,2	16
Hambatan listrik ( $\Omega.m$ )	$7,4 \times 10^{-7}$	$7,2 \times 10^{-7}$	$4,2 \times 10^{-7}$
Tingkat korosivitas terhadap KOH (ipy)	< 0,02	undefined	< 0,0002

Sumber : Callister,2009.,Shackelford,2001.



Gambar 2.31 Elektroda *stainless steel* SS304

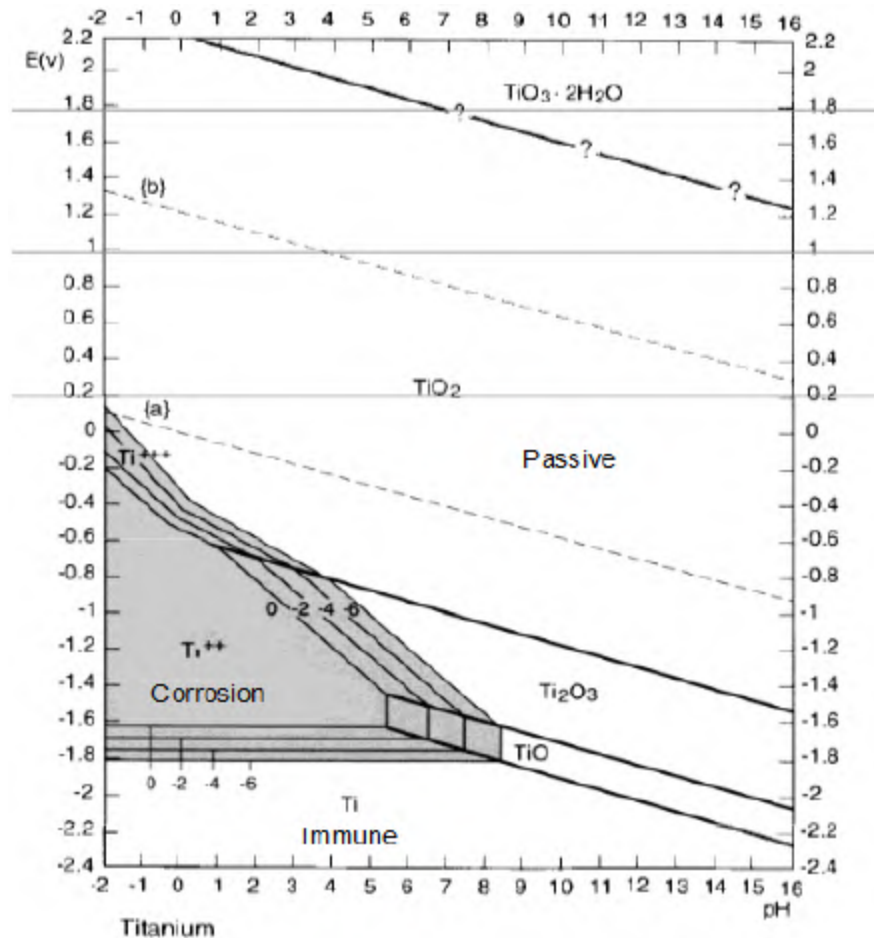


Gambar 2.32 Elektroda Titanium (*grade 1*)

Titanium merupakan material yang memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan anti korosif. Lapisan  $\text{TiO}_2$  merupakan lapisan metal oxide atau semikonduktor film (Chyntia,...). Lapisan tersebut jika terbentuk pada lapisan elektroda titanium maka akan merubah sifat lapisan konduktor titanium sebelum terelektrolisa menjadi lapisan semikonduktor setelah terjadi proses transaksi elektron dan pengikatan  $\text{O}_2$  menjadi lapisan  $\text{TiO}_2$  (Chien-Chon,2015). Hal tersebut tidak diinginkan pada generator gas HHO karena saat terjadi semikonduktor dan tegangan tidak mencukupi untuk terhantarnya elektron melalui elektroda menuju elektrolit maka dipastikan tidak akan terjadi proses elektrolisa. Adapun beberapa syarat yang harus terpenuhi jika menggunakan elektroda titanium grade 1 (Ti.gr.1). Terlihat pada gambar 2.33. Diagram Pourbaix merupakan diagram yang digunakan untuk memprediksi lapisan atau ikatan baru yang terjadi saat kondisi didalam diagram tersebut terpenuhi. Sebagai contoh lapisan  $\text{TiO}_2$ , lapisan tersebut terbentuk pada kondisi luasan tertentu dalam grafik. Titanium aktif menjadi elektroda dengan memenuhi kondisi imuniti. Kondisi imuniti merupakan kondisi titanium tidak terjadi lapisan baru atau tetap menjadi lapisan penyusun titanium/metal tersebut. Jika keluar dari lingkup kondisi imuniti dipastikan akan terbentuk lapisan baru yang bersifat semikonduktor bukan konduktor. Pada diagram Pourbaix titanium kondisi terbaik untuk dipergunakan sebagai elektroda adalah kondisi titanium dengan  $E(v)$  lebih kecil dari nilai  $-1,8$



E(v) (Bhola,2013) dan pH antara -2 hingga 8, E(v) adalah satuan energi yang sesuai fisika atom dan nuklir adalah elektron volt (eV), dimana energi potensial partikel muatan e di suatu titik potensialnya 1 volt. Elektron volt dihubungkan dengan joule dengan rincian  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$  (Tipler, 2001).



Gambar 2.33 Diagram Pourbaix Titanium untuk Ti-H<sub>2</sub>O pada temperatur 25°C (Bhola,2013)

untuk memperluas area imunitas digunakan E(v) lebih rendah kurang lebih -2 E(v) maka rentan ph lebih lebar antara -2 (asam pekat) hingga 10 (basa), dan seterusnya seperti pada diagram Pourbaix. Pada penelitian ini digunakan larutan elektrolit dengan katalis KOH. pH elektrolit pada komposisi 1 gr/1 liter H<sub>2</sub>O adalah  $\pm 10$ . Pada kondisi pH larutan elektrolit 10, maka digunakan tegangan

sebesar -2 E(v) ditiap cell atau katoda. Dari sumber listrik DC sebesar 12 volt maka dipergunakan total 6 cell. E(v) negatif (-2) pada rangkaian listrik berupa katoda, sehingga Titanium sesuai digunakan sebagai katoda. Posisi anoda tidak sesuai menggunakan titanium karena berpotensi membentuk lapisan baru berupa TiO<sub>2</sub> pada area passif didalam diagram Pourbaix dengan pH sekitar 10 (Daniela,...). Anoda diposisikan pada penggunaan SS 304 (William,2009). Nilai tegangan listrik (V) yang digunakan menyesuaikan nilai tegangan sama dengan E(v) dibagi dengan e. Nilai e terlihat pada gambar 2.30 atau persamaan elektrolisis, sebagai contoh pada anoda membutuhkan 2e dan Anoda membutuhkan 4e pada konsidi normal/standar.

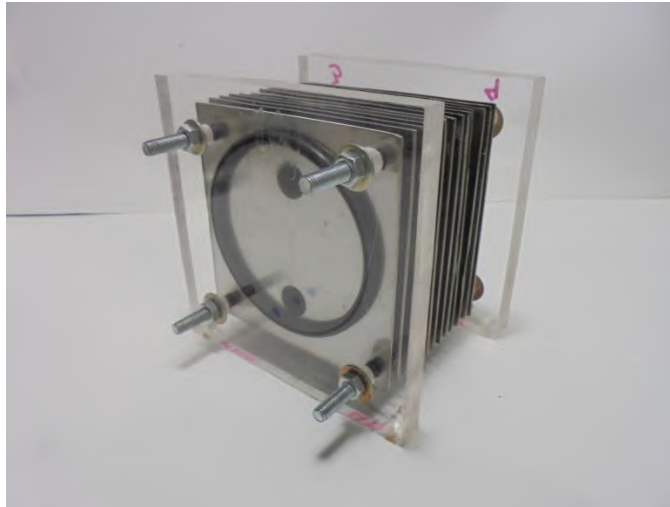
#### **2.2.6 Klasifikasi generator gas HHO**

Generator gas HHO diklasifikasikan menjadi 2 tipe yaitu tipe basah (*wet type/wet cell*) dan tipe kering (*dry type/dry cell*).

##### **1. Generator gas HHO tipe kering**

Tipe kering (*dry type/dry cell*) adalah generator gas HHO dengan elektroda yang tidak terendam elektrolit keseluruhan. Elektrolit hanya berinteraksi dengan luasan penampang diantara elektroda. Keuntungan generator gas HHO tipe *dry cell* adalah :

- a. Elektrolit lebih sedikit karena kebutuhan sesuai dengan luasan penampang dan jarak antar elektroda
- b. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara elektrolit dielektroda dengan elektrolit direservoir (temperatur relatif tetap)
- c. Arus listrik (ampere) yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas minim

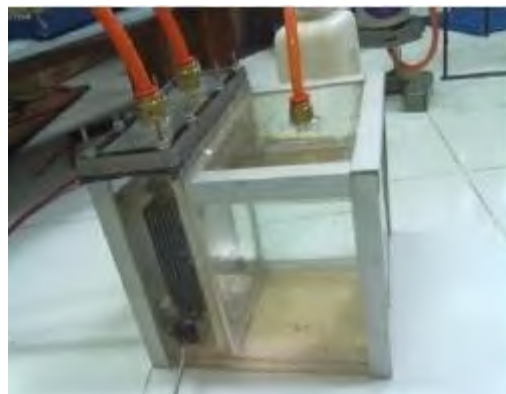


Gambar 2.34 Generator gas HHO tipe *dry cell*

## 2. Generator gas HHO *Wet Cell*

Tipe basah (*wet type*) adalah generator HHO dengan keseluruhan luasan penampang elektroda terendam didalam elektrolit. Keuntungan generator gas HHO tipe *wet cell* adalah

- a. Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil karena luasan penampang yang lebih besar
- b. Perawatan generator lebih mudah karena tanpa membongkar pasang seperti pada *dry cell*
- c. Rancang bangun generator HHO lebih simpel karena tidak perlu penambahan *seal* dan komponen pembangun lain seperti pada *dry cell*



Gambar 2.35 Generator gas HHO tipe *wet cell* (Ghiffari,2013)

### 2.2.7 Parameter unjuk kerja generator gas HHO

Unjuk kerja GHHO terdiri dari 4 parameter. Parameter unjuk kerja menunjukkan kemampuan GHHO dalam memproduksi gas HHO. Kemampuan GHHO dalam memproduksi gas HHO diindikasikan dari besarnya efisiensi.

Efisiensi GHHO dipengaruhi dari inputan berupa konsumsi daya listrik dan outputan berupa laju produksi gas HHO serta kebutuhan energi untuk memproduksi gas setiap kilogramnya terindikasi dari produksi gas HHO spesifik.

Berikut beberapa parameter performa dari GHHO :

1. Konsumsi Daya GHHO
2. Laju produksi gas HHO
3. Produksi gas HHO spesifik
4. Efisiensi GHHO

#### 1. Konsumsi Daya GHHO ( $P_{HHO}$ )

Gas HHO dihasilkan dari proses elektrolisa air, elektrolisa membutuhkan energi listrik. Sumber energi listrik dihasilkan dari aki/baterai, kriteria aki/baterai merupakan sumber tegangan searah (DC). Daya yang dibutuhkan untuk pengoperasian GHHO dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1 (Young,2003).

$$P_{HHO} = V_{HHO} \times I_{HHO} \dots\dots\dots 2.1$$

Diketahui:

$$P_{HHO} = \text{Daya listrik generator gas HHO (W)}$$

$$V_{HHO} = \text{Tegangan listrik generator gas HHO (V)}$$

$$I_{HHO} = \text{Arus listrik generator gas HHO (A)}$$

Pengukuran arus listrik digunakan amperemeter dengan dipasang secara seri pada rangkaian kelistrikan GHHO, dan pengukuran tegangan listrik digunakan voltmeter dengan dipasang secara paralel pada rangkaian kelistrikan GHHO.

## 2. Laju produksi gas HHO ( $\dot{m}_{HHO}$ )

Nilai massa jenis gas HHO ( $\rho_{HHO}$ ) digunakan untuk menghitung laju produksi gas HHO. Pada STP (ideal) massa jenis  $H_2$ ,  $\rho_{H_2} = 0,08235 \text{ gr/ltr}$  dan  $O_2$ ,  $\rho_{O_2} = 1,3088 \text{ gr/ltr}$  (Cole.2005), maka  $\rho_{HHO}$  dihitung dengan persamaan 2.2.

$$\begin{aligned}
 \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} \dots\dots\dots 2.2 \\
 &= \frac{m_{H_2} + m_{O_2}}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} \\
 &= \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\
 &= \left( \frac{2}{3} \times 0.08235 \frac{\text{gr}}{\text{L}} \right) + \left( \frac{1}{3} \times 1.3088 \frac{\text{gr}}{\text{L}} \right) \\
 &= 0.491167 \frac{\text{gr}}{\text{L}}
 \end{aligned}$$

Gas HHO merupakan produk utama yang dihasilkan dari proses elektrolisa air. Proses elektrolisa air menggunakan alat yaitu generator gas HHO (GHHO). Kinerja GHHO diketahui dari banyaknya produksi gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO. Untuk mengetahui nilai *mass flowrate* gas HHO dihitung dengan persamaan 2.3 :

$$\dot{m}_{HHO} = Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \dots\dots\dots 2.3$$

diketahui :

$$\dot{m}_{HHO} = \text{Laju Produksi Gas HHO (kg/s)}$$

$$Q_{HHO} = \text{Debit produksi Gas HHO (m}^3\text{/s)}$$

$$\rho_{HHO} = \text{Massa Jenis HHO (kg/m}^3\text{)}$$

nilai debit produksi gas HHO dihitung dengan persamaan 2.4

$$Q_{HHO} = V_{HHO} / t_{HHO} \dots\dots\dots 2.4$$

diketahui :

$$V_{HHO} = \text{Volume gas terukur (m}^3\text{)}$$

$$t_{HHO} = \text{Waktu produksi gas HHO (s)}$$

### 3. Produksi gas HHO spesifik (SGP)

Produksi gas HHO spesifik merupakan kebutuhan energi disetiap kilogram produksi gas HHO, nilai tersebut dihasilkan dari perbandingan daya listrik dengan laju produksi gas HHO. Pada persamaan 2.5 digunakan untuk menghitung produksi gas HHO spesifik

$$SGP_{HHO} = \frac{\dot{m}_{HHO}}{P_{HHO}} \dots\dots\dots 2.5$$

Diketahui :

$$P_{HHO} = \text{Daya listrik generator gas HHO} \left( \frac{J}{s} \right)$$

$$SGP_{HHO} = \text{Produksi gas spesifik} \left( \frac{kg}{J} \right)$$

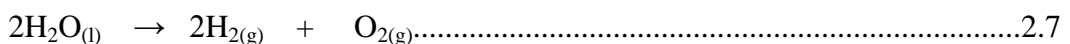
### 4. Efisiensi GHHO ( $\eta_{HHO}$ )

Parameter Efisiensi GHHO merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan dengan energi yang dihasilkan pada suatu sistem. Berikut persamaan 2.5 yang digunakan untuk menghitung efisiensi GHHO

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan elektrolisis}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.6$$

Hasil dari elektrolisis air menggunakan GHHO berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> memiliki nilai kalor masing. Nilai kalor tersebut dimanfaatkan untuk meningkatkan energi dari proses pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO yang memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan gas penyusunnya (H<sub>2</sub>), dikarenakan kandungan gas H<sub>2</sub> terdiri dari 2/3 volume gas HHO.

Pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air (terlihat pada Persamaan 2.7) dihitung nilai kandungan massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO. Jika massa H<sub>2</sub>O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> sebanyak 1kg, sehingga jika diketahui berat molekul  $Mr \text{ H}_2\text{O} = 18$ ,  $Mr \text{ H}_2 = 2$ ,  $Mr \text{ O}_2 = 32$ , maka dihasilkan nilai mol H<sub>2</sub> sebagai berikut:



Dari perbandingan mole pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dihitung berapa massa H<sub>2</sub> dalam 1 kg gas HHO dengan menggunakan Persamaan 2.8.

$$mol = \frac{\text{massa senyawa}}{Mr \text{ senyawa}} \dots\dots\dots 2.8$$

sehingga,

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Mr_{H_2O}} = \frac{1 \text{ kg}}{18 \text{ kg/mol}} = 0.055 \text{ mol}$$

$$n_{H_2} = \frac{\text{Koef. } H_2}{\text{Koef. } H_2O} \times n_{H_2O} = \frac{2}{2} \times 0,055 = 0.055 \text{ mol}$$

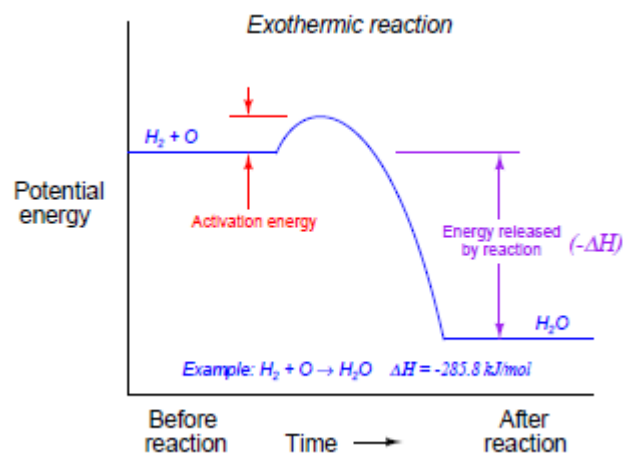
$$m_{H_2} = n_{H_2O} \times MR_{H_2} = 0.055 \text{ mol} \times 2 \text{ kg/mol} = 0,11 \text{ kg}$$

Jadi massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO sebesar 1/9 massa total gas HHO, maka NKB (nilai kalor bawah) gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H<sub>2</sub> yaitu = 1/9 x 119.950 kJ/g = 13.327,78 kJ/g atau 13,327 MJ/kg.

Perubahan entalpi pada pembakaran standar adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik) yang terjadi ketika satu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada temperatur 298K dan bertekanan (atmosfer) 1 atm. Nilai entalpi pembakaran memiliki satuan Joule (J) atau kilo Joule (kJ) per satu mol reaktan yang bereaksi sempurna dengan oksigen (oksidasi). Setiap sistem atau zat memiliki energi yang tersimpan. Energi potensial berkaitan dengan wujud zat, volume, dan tekanan. Energi kinetik ditimbulkan saat atom-atom dan molekul-molekul dalam zat yang bergerak secara acak. Jumlah total dari semua bentuk energi disebut entalpi (H). Entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk atau keluar dari zat. Misalnya entalpi untuk air ditulis H H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub> dan untuk es ditulis H H<sub>2</sub>O<sub>(s)</sub>. Entalpi (H) suatu zat ditentukan oleh jumlah energi dan semua bentuk energi yang dimiliki zat.

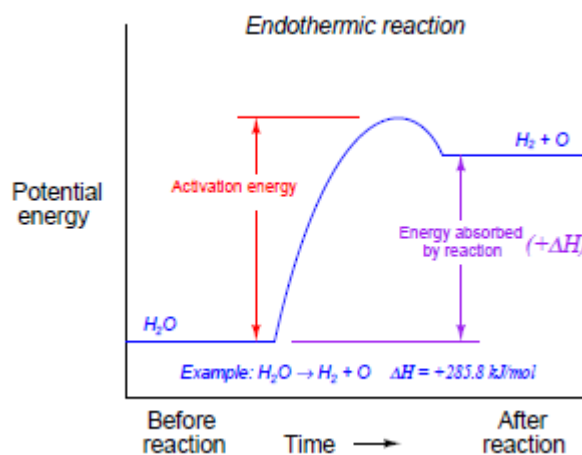
Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama proses penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dengan perubahan entalpi ( $\Delta h$ ). Perubahan entalpi didalam zat saat menerima atau melepaskan energi dideskripsikan sebagai berikut:

- a. **Reaksi eksoterem** terjadi saat pelepasan panas dari sistem ke lingkungan, temperatur dari campuran reaksi meningkat dan energi potensial dari zat- zat kimia menurun terlihat pada Gambar 2.35.



Gambar 2.36 Reaksi eksoterem (Kuphaldt,2012)

- b. **Reaksi endoterem** terjadi saat penyerapan panas dari lingkungan ke sistem, temperatur dari campuran reaksi menurun dan energi potensial dari zat-zat kimia meningkat terlihat pada Gambar 2.36.



Gambar 2.37 Reaksi edoterem (Kuphaldt,2012)



pada reaksi penguraian air :

$\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 0,5\text{O}_{2(g)} = +285,8 \text{ kJ/mol}$  adalah reaksi endoterem yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = +285,8 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$\text{H}_2\text{O}_{(l)} \leftarrow \text{H}_{2(g)} + 0,5\text{O}_{2(g)} = -285,8 \text{ kJ/mol}$  adalah reaksi eksoterem yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai negatif (-). Energi entalpi yang dihasilkan adalah :

$$\Delta h = -285,8 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP terlihat pada persamaan 2.9 :

$$P V = n \bar{R} T \dots\dots\dots 2.9$$

dimana :

- P = Tekanan gas ideal (atm)
- V = Volume gas terukur (L)
- n = Molaritas senyawa (mol)
- $\bar{R}$  = Konstanta gas ideal (L.atm/mol.K)
- T = Temperatur, 298,15 K  $\approx$  25 °C

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam kilo joule per mol ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan merubah nilai input dari daya dengan satuan watt (J/s), maka volume gas dan mol digunakan satuan per waktu. Persamaan gas ideal dengan penggunaan satuan per waktu terlihat pada Persamaan 2.10,

$$P \dot{V} = \dot{n} \bar{R} T$$

$$\dot{n} = \frac{P \dot{V}}{\bar{R} T} \dots\dots\dots 2.10$$

diketahui :

- $\dot{V}$  = Volume per waktu (liter/s)
- $\dot{n}$  = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

sehingga dihasilkan nilai efisiensi dalam prosentase pada Persamaan 2.11,

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan elektrolisis}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100 \%$$

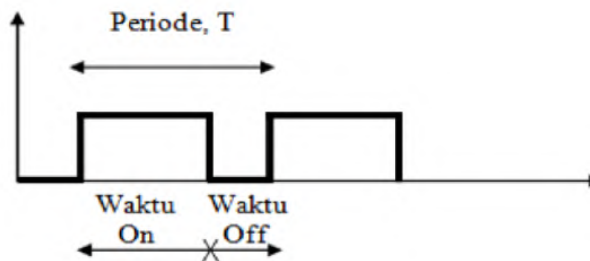
$$= \frac{\Delta h \cdot n}{(V \cdot I)} \times 100\% \dots\dots\dots 2.11$$

(Kuphaldt,2012).

### 2.2.8 Pulse width modulation (PWM)

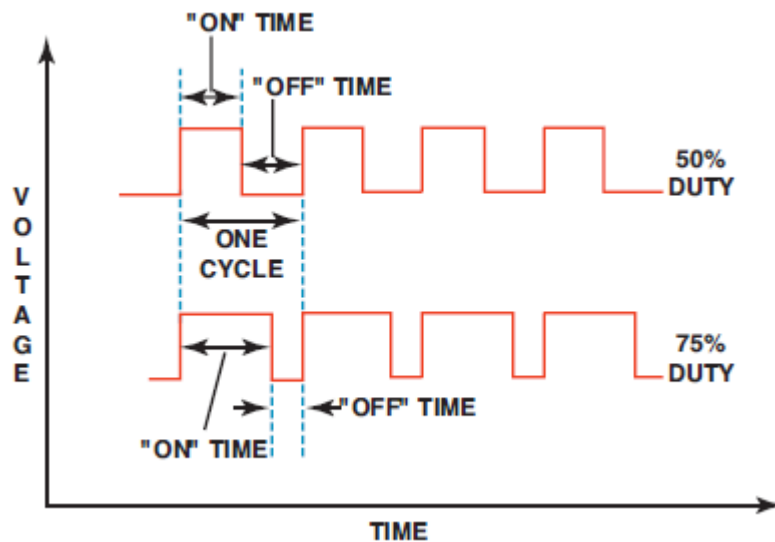
Rangkaian alat elektronik berupa PWM berfungsi untuk mengatur atau mengontrol kerja suatu alat yang membutuhkan arus *pull in* yang besar sehingga menghindari disipasi daya yang berlebih dengan cara mengatur prosentase lebar pulsa terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang dihubungkan ke generator gas HHO sebagai sumber daya.

*Pulse Width Modulation* (PWM) adalah metode pengendalian dengan cara mengatur lebar pulsa yang dihasilkan pada frekuensi yang tetap. Sinyal pengendali berupa sinyal *on* dan *off*. Pengaturan dilakukan pada perbandingan waktu antara sinyal *on* dan *off* (terlihat pada Gambar 2.37).



Gambar 2.38 Skema perhitungan nilai *duty cycle* PWM (Ghiffari,2013)

sehingga dihasilkan perubahan *duty cycle*. *Duty cycle* adalah waktu sinyal pada kondisi *on* dibandingkan dengan periode sinyal.



Gambar 2.39 Lebar pulsa *on* dan *off* duty cycle PWM (Haldemar,2012)

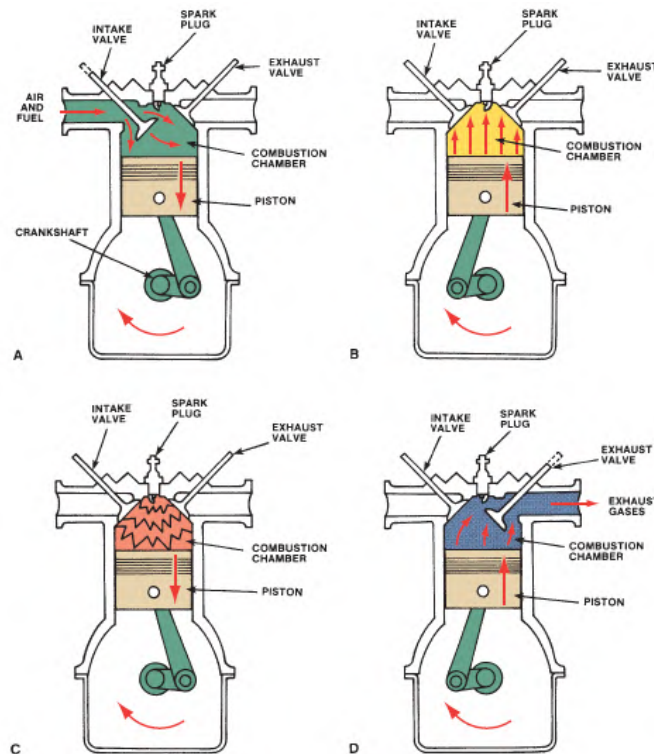
Pengaturan lebar pulsa “*On*” dan “*Off*” dalam satu perioda (T) gelombang dilakukan dengan memberikan besar sinyal referensi keluaran dari PWM yang dihasilkan melalui pemberian besar sinyal yang dibutuhkan. *Duty cycle* dari PWM ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.12

$$duty\ cycle = \frac{t_{on}}{t_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.12$$

Dari persamaan 2.12, jika penggunaan *duty cycle* 50% dari tegangan sumber 12VDC (terlihat pada Gambar 2.38) maka dihasilkan nilai tegangan listrik rerata yang dihasilkan 50% dari total tegangan yang ada dan seterusnya untuk variasi (%) *duty cycle* lainnya (Haldemar,2012).

### 2.2.9 Siklus pembakaran pada mesin 4 langkah pengapian busi

Mesin sepeda motor untuk pengujian unjuk kerja menggunakan sistem pengapian busi (*spark ignition*) dengan proses pembakaran dalam siklus 4 langkah. Siklus 4 langkah terdiri dari 4 langkah yaitu, langkah hisap, langkah kompresi, langkah ekspansi, dan langkah buang terlihat pada Gambar 2.39.



Gambar 2.40 Siklus mesin 4 langkah pengapian busi (Erjavec,2010)

Berikut diskripsi siklus mesin 4 langkah (*four stroke*) dengan pengapian busi :

#### 1. Langkah hisap (*intake stroke or introduction*)

Langkah awal dalam siklus 4 langkah berupa langka hisap, langkah hisap terjadi saat *intake valve* terbuka dan bahan bakar masuk ke ruang bakar. Masuknya bahan bakar kedalam ruang bakar dikarena hisapan dari kevakuman ruang bakar, hal tersebut terjadi dikarenakan piston mengalami perpindahan karena putaran poros engkol (*crankshaft*) sehingga piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Setelah bahan bakar dan udara memenuhi volume ruang dan piston berada pada posisi TMB maka bakar saluran bahan bakar masuk (*intake valve*) tertutup.

## **2. Langkah kompresi (*compression stroke*)**

Langkah kompresi terjadi saat semua saluran keluar dan masuk bahan bakar tertutup dan piston bergerak dari TMB menuju TMA. Pada posisi piston di TMA udara dan bahan bakar di ruang bakar terjadi kompresi, terjadi percikan bunga api yang dihasilkan dari busi. Percikan bunga api memicu terjadinya pembakaran antara bahan bakar dan udara.

## **3. Langkah ekspansi (*expansion stroke or power stroke*)**

Langkah ekspansi terjadi setelah terjadi kompresi antara bahan bakar dan udara saat mengalami pembakaran didalam ruang bakar. Proses pembakaran antara bahan bakar dan udara menghasilkan ledakan didalam ruang bakar, volume dari udara dan bahan bakar menjadi lebih besar, dengan volume ruang bakar yang tetap sehingga terjadi pertambahan tekanan didalam ruang bakar hal ini mengakibatkan piston pada posisi TMA bergerak menuju TMB karena tekanan yang dihasilkan dari proses pembakaran.

## **4. Langkah buang (*exhaust stroke*)**

Langkah buang/ pembuangan hasil pembakaran terjadi sesaat setelah terjadi ledakan didalam ruang bakar. Hasil dari ledakan atau pembakaran diruang bakar berupa gas buang. gas buang tersebut mengalir keluar dari ruang bakar melalui saluran buang (*exhaust valve*). Keluarnya gas buang diakibatkan adanya dorongan atau pergerakan piston dari TMB menuju TMA. Setelah keseluruhan gas buang keluar dari ruang bakar, *exhasut valve* tertutup.

Siklus 4 langkah terjadi secara berkesinambungan terus menerus saat mesin bekerja dan terjadi pembakaran didalam ruang bakar.

(Erjavec,2010)

### 2.2.10 Perbandingan campuran bahan bakar dan udara

Proses pembakaran membutuhkan 3 syarat, yaitu adanya bahan bakar, oksigen (udara) dan pematik api. Pada proses pembakaran campuran bahan bakar dengan oksigen berperan terjadinya reaksi pembakaran hingga menghasilkan produk dari proses tersebut. Pada lingkungan sekitar oksigen terkandung didalam udara sebesar 21%.

Metode untuk menghitung rasio campuran antara bahan bakar dan udara adalah AFR (air fuel ratio), FAR (fuel air ratio), dan ratio equivalen ( $\phi$ ).

#### 2.2. 1 Rasio udara dan bahan bakar (air-fuel ratio / AFR)

Perbandingan udara dan bahan bakar pada komposisi sebagai berikut,

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} = \frac{M_{udara}N_{udara}}{M_{bahan\ bakar}N_{bahan\ bakar}} \dots\dots\dots 2.13$$

#### 2.2. 2 Rasio bahan bakar dan udara (fuel-air ratio / FAR)

Perbandingan bahan bakar dan udara pada komposisi sebagai berikut,

$$FAR = \frac{m_{bahan\ bakar}}{m_{udara}} = \frac{M_{bahan\ bakar}N_{bahan\ bakar}}{M_{udara}N_{udara}} \dots\dots\dots 2.14$$

#### 2.2. 3 Rasio ekivalen (Equivalen ratio / $\phi$ )

Rasio ekivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara AFR stoikiometri dengan AFR aktual atau FAR aktual berbanding FAR stoikiometri. Ratio ekivalen dirumuskan sebagai berikut:

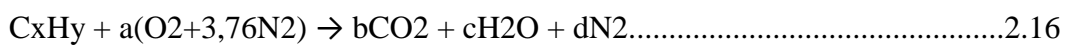
$$\phi = \frac{AFR_{stoi}}{AFR_{act}} = \frac{FAR_{act}}{FAR_{stoi}} \dots\dots\dots 2.15$$

Persamaan 2.15 didefinisikan sebagai berikut :

- $\phi > 1$  : terjadi kelebihan campuran bahan bakar dan dikenal dengan campuran kaya (fuel-rich mixture)
- $\phi < 1$  : terjadi kekurangan campuran bahan bakar dan dikenal dengan campuran kaya (fuel-lean mixture)

- $\phi = 1$  : terjadi campuran bahan bakar yang berimbang dan dikenal dengan (perfect combustion)

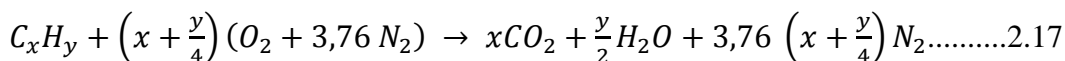
bahan bakar berupa hidrokarbon akan bereaksi sempurna secara oksidasi menjadi karbon dioksida dan uap air dengan syarat komposisi oksigen terpenuhi secara stoikiometri. persamaan kimia untuk proses pembakaran stoikiometri pada bahan bakar hidrokarbon ( $C_xH_y$ ) dengan udara terlihat pada persamaan 2.16



Dengan,

- kesetimbangan C :  $x = b$
- kesetimbangan H :  $y = 2c \rightarrow c = y/2$
- kesetimbangan O :  $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = x + y/4$
- kesetimbangan N :  $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(x + y/4)$

persamaan kesetimbangan diatas disubsitusikan sehingga menghasilkan persamaan 2.17, sebagai berikut,



Untuk jumlah oksigen yang dibutuhkan agar terjadi pembakaran yang stoikiometri, terlihat pada persamaan 2.18, sebagai berikut

$$m_{O_2} = \frac{m_{atom O_2}}{m_{mol C_xH_y}} x \text{ presentase } C_xH_y \left( \frac{kg}{kg} \text{ bahan bakar} \right) \dots\dots\dots 2.18$$

Stoikiometri massa yang berdasarkan rasio udara dan bahan bakar hidrokarbon ( $C_xH_y$ ), terlihat pada persamaan 2.19, sebagai berikut,

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} = \frac{(\sum n_i \bar{M}_i)_{udara}}{(\sum n_i \bar{M}_i)_{bahan\ bakar}} = \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right) \bar{M}_{O_2} + 3,76 \left(x + \frac{y}{4}\right) \bar{M}_{N_2}}{x \bar{M}_C + y \bar{M}_H} \dots\dots\dots 2.19$$

Pada proses pembakaran dibutuhkan perbandingan 1 : 14,7 , 1 kg bahan bakar : 14,7 udara. Perbandingan tersebut disebut stoikiometri, pada bahan bakar

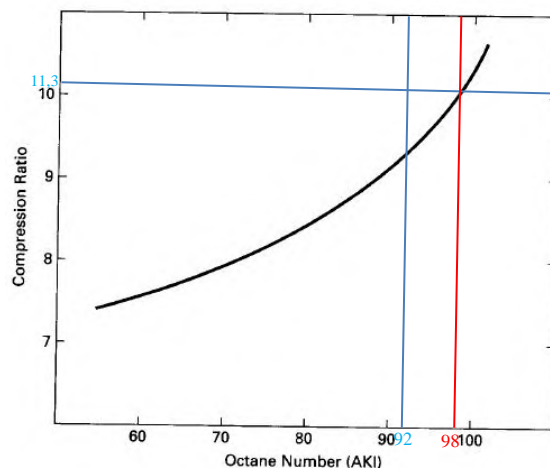
hidrogen memiliki nilai perbandingan 1 : 34,3. Faktor udara ekse (excess air factor)  $\lambda$  mengidikasikan campuran antara bahan bakar dan udara. Jika  $\lambda = 1$  maka campuran tersebut stoikiometri, untuk  $\lambda < 1$  maka terjadi campuran kaya, terlalu banyak bahan bakar dibanding udara. Dan jika  $\lambda > 1$  maka terjadi campuran miskin, dengan dominasi terbanyak pada udara.

### 2.2.11 Parameter karakteristik torsi dan daya pada mesin motor pembakaran dalam

Perubahan nilai torsi dan daya mesin dipengaruhi karakter mesin dan karakter bahan bakar. Mesin sepeda motor uji berkarakter mesin 4 tak. Bahan bakar yang digunakan mempengaruhi hasil nilai torsi dan daya mesin. Berikut parameter bahan bakar yang dipergunakan :

#### 1. Nilai OKTAN

Nilai OKTAN bahan bakar merupakan nilsi propertis bahan bakar ysng terbakar atau tidak terbakar dengan sendirinya (self ignition). Nilai oktan dihasilkan dari penelitian ekperimen bahan bakar. Nilai tersebut menunjukan tingkat korelasi RON dengan kompresi rasio. Mesin sepeda motor CB 150 R berkarakter mesin dengan kompresi tinggi dengan nilai kompresi rasio 11,3 : 1. Kompresi tinggi sesuai dengan nilai oktan tinggi terlihat pada gambar 2.40,



Gambar 2.41 Rasio kompresi kritikal terhadap nilai oktan bahan bakar (AKI) pada mesin (Pulkbarek,1997).



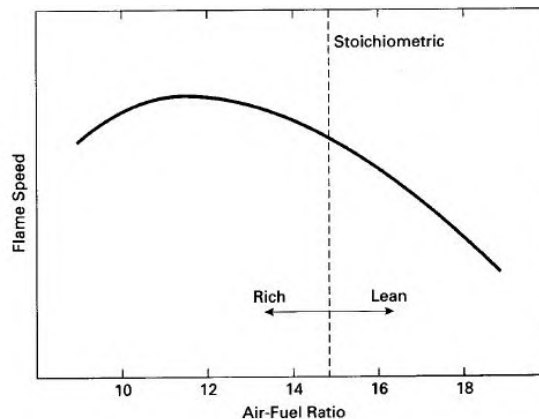
Nilai AKI merupakan hasil dari perhitungan RON (research octan number) dan MON (*motor oktan number*). Korelasi AKI antara RON dan MON mengindikasikan terjadinya *knocking* pada mesin saat terjadi pembakaran yang dipengaruhi dari karakter bahan bakar. *Knocking* adalah kondisi tidak ideal yang terjadi akibat penggunaan bahan bakar yang terbakar atau tidak terbakar saat proses pembakaran sehingga menurunkan torsi dan daya yang dihasilkan mesin. Tingginya nilai oktan dipengaruhi tingginya nilai *flame speed*, *air fuel ratio*, dan *ignition delay time*. Nilai oktan bahan bakar yang rendah membutuhkan mesin dengan kompresi rasio yang rendah. Nilai kompresi rasio tinggi diatas 8 : 1

(Pulkbarek,1997).

## **2. Kecepatan bahan bakar terbakar (*Flame speed*)**

*Flame speed* merupakan nilai kecepatan suatu bahan bakar yang terbakar saat terjadi campuran dengan udara hingga terbakar. *Flame speed* bahan bakar pertamax bernilai lebih rendah dibanding pertamax + hidrogen, dengan  $\lambda > 1$  merupakan campuran bahan bakar yang lebih banyak (*rich fuel*) mengakibatkan tidak terjadinya bahan bakar sempurna dan sisa bahan bakar tersebut terbang pada lingkungan sekitar melalui knalpot kendaraan.

Penambahan gas hidrogen dengan nilai *flame speed* lebih tinggi mengakibatkan pengapian yang maju, sehingga berakibat terbakarnya bahan bakar yang tercampur di dalam ruang bakar lebih cepat dan meminimalisir terbuangnya bahan bakar yang tidak terbakar ke knalpot sepeda motor, dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar pertamax (standar) (Pulkbarek,1997). Terlihat pada gambar 2.41 hubungan antara *flame speed* dengan putaran mesin,



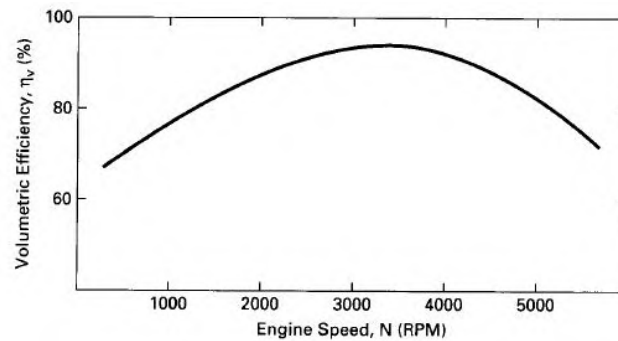
Gambar 2.42 *Flame speed* rerata pada mesin pembakaran dalam berbahan bakar bensin terhadap putaran mesin (Pulkbarek,1997).

Korelasi antara *flame speed* terhadap putaran mesin terjadi pada putaran mesin rendah kebutuhan nilai *flame speed* yang lebih lambat dibandingkan putaran yang tinggi membutuhkan kecepatan terbakar (*flame speed*) yang lebih cepat.

### 3. Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetri adalah pengukuran udara dari lingkungan sekitar yang mengalir kedalam ruang bakar torak pada siklus terkahir dimesin 4 siklus (Basshuysen,2004). Efisiensi volumetri dipengaruhi oleh massa udara yang masuk (aktual) berbanding dengan massa udara secara teori pada tiap siklus. Bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar mempengaruhi jumlah udara aktual. Bahan bakar yang bercampur dengan udara diruang bakar, berakibat bahan bakar menguap. Uap bahan bakar bercampur udara yang memiliki konsentarsi yang lebih titik didih rendah dengan penggunaan bahan bakar pertamax, dengan penambahan gas HHO akan meningkatkan efisiensi volumetri dikarenakan gas HHO memiliki titik didih yang rendah sehingga lebih cepat menguap. Pada bahan bakar yang lebih cepat menguap akan menyebabkan efesiensi volumetri mesin berkurang karena uap bakar menggantikan udara terlalu dini pada sistem intake. Pada sistem injektor efisiensi lebih tinggi dibanding karburator karena pemasukan bahan bakar berimbang dengan volume udara yang masuk ke dalam ruang bakar.

Terlihat pada gambar 2.42 hubungan antara efisiensi volumetri dengan putaran mesin,



Gambar 2.43 Efisiensi Volumetrik terhadap putaran mesin (Pulkbarek,1997).

Putaran mesin rendah menghasilkan nilai efisiensi volumetri yang rendah, fenomena yang sama terjadi pada putaran mesin yang tinggi. Puncak tertinggi nilai efisiensi volumetri pada putaran mesin antara yang terendah dan tertinggi.

Bahan bakar pertamax memiliki nilai *air fuel ratio* (AFR) yang lebih rendah (14,7:1) dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar gas Hidrogen (34,2:1). Bahan bakar dengan AFR rendah mengakibatkan kerugian yang lebih besar pada efisiensi volumetri dibandingkan dengan bahan bakar ber AFR tinggi (Pulkbarek,1997).

#### 2.2.12 Parameter unjuk kerja mesin sepeda motor

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin sepeda motor, antara lain:

##### 1. Torsi pengereman (BT)

Indikator kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja (W) ditunjukan dengan nilai torsi yang dihasilkan dalam satuan N.m. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan engkol. Pada penelitian ini menggunakan *Dynamometer* sebagai alat ukur torsi yang dihasilkan dari mesin sepeda motor. Torsi mesin dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20

$$bt = F \cdot r \dots\dots\dots 2.20$$

Keterangan :

$bt$  = *brake* torsi (N.m)

$F$  = gaya yang bekerja pada piston (N)

$r$  = panjang lengan poros engkol (m)

## 2. Daya efektif pengereman (BHP)

Daya yang dihasilkan mesin sepeda motor berupa daya poros (*brake horse power*). Daya poros merupakan indikasi dari daya yang dihasilkan mesin sepeda motor untuk menggerakkan beban. Nilai daya poros sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Daya poros dirumuskan pada persamaan 2.21

$$bhp = \omega \cdot T = 2\pi \cdot n \cdot T \dots\dots\dots 2.21$$

Keterangan :

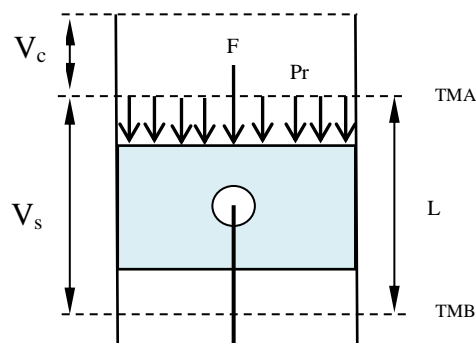
$bhp$  = daya efektif pengereman (kW)

$n$  = putaran *roller dynamometer* (rad/menit)

$bt$  = torsi (kgf) ; (1 kgf.m = 9.80665 N.m)

## 3. Tekanan efektif rata-rata pengereman (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata (*Brake Mean Effective Pressure*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rerata teoritis ( $P_r$ ) yang terjadi didalam volume ruang bakar ( $V_s$ ) pada permukaan luasan piston yang bergerak antara TMA dan TMB dengan jarak  $L$ , sehingga menghasilkan daya terlihat pada Gambar 2.43 skema gaya yang bekerja pada piston. *BMEP* dihitung dengan persamaan 2.22,



Gambar 2.44 Skema gaya yang bekerja pada piston (Abdullah,2014)

$$Bmep = \frac{a \cdot bhp}{\frac{1}{4}D^2 \cdot L \cdot n} \dots\dots\dots 2.22$$

Keterangan :

$b_{mep}$  = tekanan efektif rerata (Pa)

D = diameter piston (m)

L = jarak antara TMA & TMB atau panjang langkah piston (m)

a = jumlah siklus per putaran

siklus per putaran : 1 untuk motor 2 langkah dan 2 untuk motor 4 langkah

#### 4. Efisiensi Thermal Efektif ( $\eta_{th}$ )

Termal dihubungkan dengan “panas”. Efisiensi termal mesin adalah hubungan antara daya yang dihasilkan mesin dengan daya yang dihasilkan dari pelepasan energi yang tersimpan didalam bahan bakar tersebut saat terjadi proses pembakaran.

Secara matematis efisiensi termal efektif terlihat pada persamaan 2.23,

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} \dots\dots\dots 2.23$$

Keterangan :

$\eta_{th}$  = efisiensi termal (%)

$\dot{m}_f$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$Q_{HV}$  = jumlah kalor bahan bakar (kJ/kg)

#### 5. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( $S_{fc}$ )

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu mesin, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga.

Besarnya *specific fuel consumption* (sfc) dihitung dengan persamaan 2.24,

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{bhp} \dots\dots\dots 2.24$$

Pada pengujian standar, massa bahan bakar dicari dengan menggunakan persamaan 2.25,

$$\dot{m}_f = \rho_{\text{bahan bakar}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}} \dots \dots \dots 2.25$$

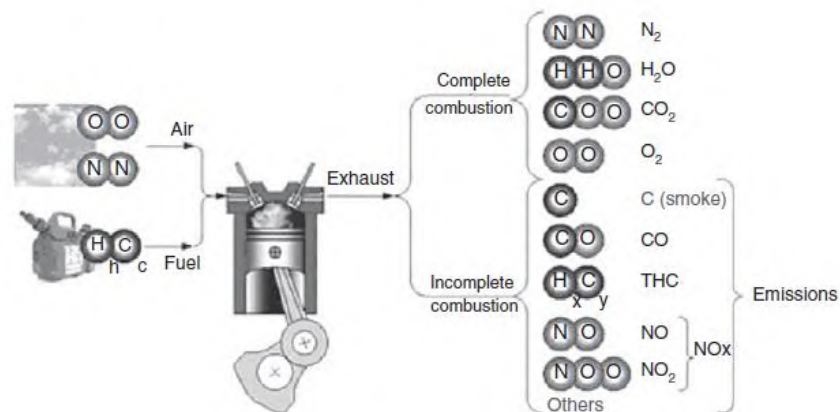
Keterangan :

$\rho_{\text{bahan bakar}}$  = massa jenis bahan bakar ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$Q_{\text{bahan bakar}}$  = debit bahan bakar ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

### 2.2.13 Gas buang kendaraan berbahan bakar bensin

Gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun yang dihasilkan dari pembakaran sempurna dan gas beracun dari pembakaran yang tidak sempurna terlihat pada gambar 2.44



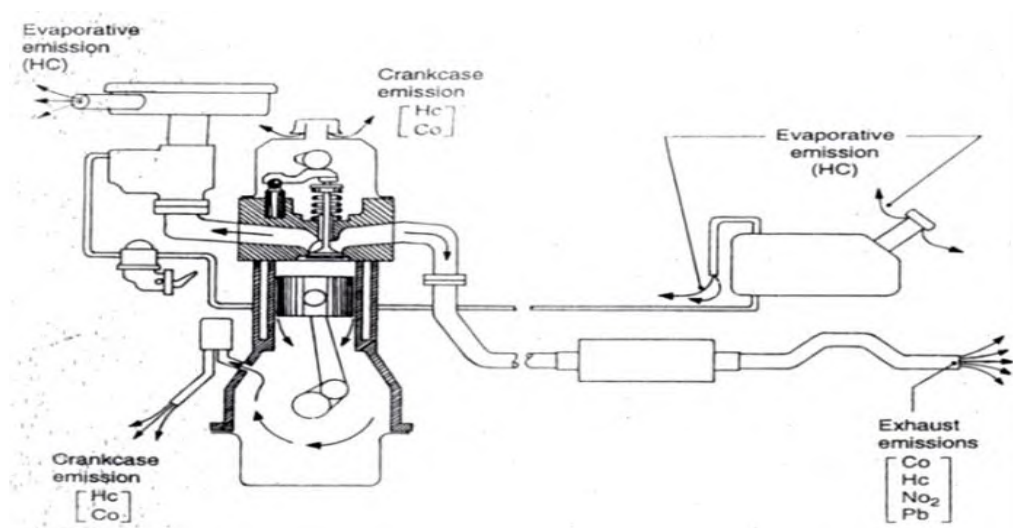
Gambar 2.45 Gas buang hasil pembakaran bahan bakar dan udara (Martyr,2012)

Pembakaran menghasilkan emisi gas buang (*air pollutants*) berupa partikel, gas nitrioksida ( $\text{NO}$ ), karbonmonoksida ( $\text{CO}$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan lain sebagainya (Mahallawy,2002).

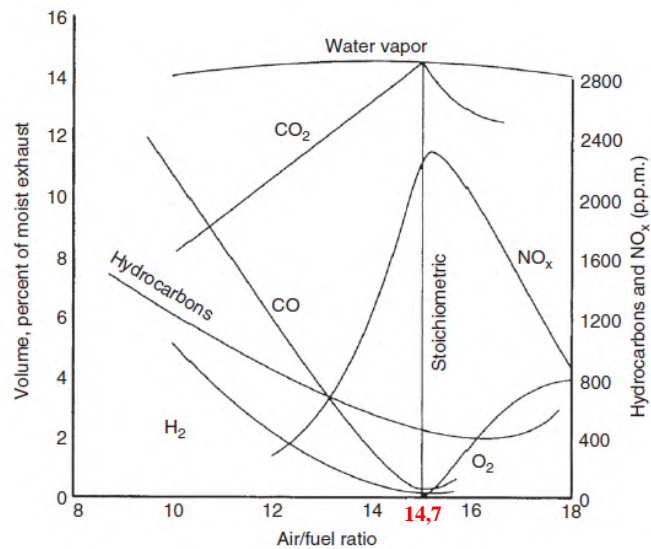
Pada kendaraan bermotor polusi berasal dari empat sumber (terlihat pada Gambar 2.45), yaitu:

- Saluran pembuangan (knalpot) memiliki kontribusi sekitar (65-85%) dan menghasilkan hidrokarbon ( $\text{HC}$ ) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan campuran lainnya.

- b. Penampungan oli mesin berkontribusi sekitar (20%), dan mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan *blowby*.
- c. Tangki bahan bakar berkontribusi sebesar (5%) karena saat terjadi peningkatan temperatur lingkungan yang mengakibatkan meningkatnya temperatur tangki bahan bakar sehingga terjadi penguapan bahan bakar didalam tangki dan menghasilkan hidrokarbon mentah
- d. Pada sistem suplai bahan bakar karburator berkontribusi sekitar (5-10%) yang dihasilkan dari karburator. Penguapan bahan bakar pada karburator terjadi saat temperatur lingkungan meningkat sehingga bahan bakar didalam karburator menguap (Obert, 1973).



Gambar 2.46 Sumber emisi gas buang kendaraan bermotor kaburator  
(Abdullah,2014)



Gambar 2.47 Korelasi antara emisi gas buang dan *air/fuel ratio* pada mesin bensin (Martyr,2012)

Proses pembakaran didalam ruang bakar torak terlihat pada Gambar 2.46 menghasilkan nilai NOx yang tinggi pada saat A/F 14,7 hal ini bertolak belakang dengan hasil gas CO yang lebih rendah. A/F 14,7 merupakan kondisi stokiometri yaitu keadaan paling ideal pada proses pembakaran dalam dengan perbandingan udara sebanyak 14,7 satuan dan bahan bakar sebanyak 1 satuan. Nilai CO<sub>2</sub> pada kondisi stokiometri menghasilkan nilai yang tertinggi.

### 1. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak berwarna dan tidak berbau. Didalam tubuh manusia, karbon monoksida menghalangi kemampuan darah untuk menangkap oksigen. Jika darah mengalami kekurangan oksigen maka akan mengganggu kerja oragan lain didalam tubuh. Kandungan karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi berikut :



Jika oksigen tidak mencukupi terjadinya oksidasi pada karbon, sehingga terjadi pembakaran yang tidak sempurna, hal tersebut menghasilkan karbonmonoksida, seperti pada reaksi berikut :





pada saat campuran kaya (kekurangan udara atau kelebihan bahan bakar) emisi gas buang CO cenderung naik. Hal ini dikarenakan atom karbon (C) yang berasal dari bahan bakar tidak teroksidasi sempurna dengan oksigen ( $O_2$ ) yang berasal dari udara. Pada kondisi campuran miskin (kelebihan udara atau kekurangan bahan bakar) konsentrasi CO berbanding lurus dengan campuran bahan bakar dan udara yang masuk kedalam ruang bakar sehingga konsentrasi CO menurun dikarenakan oksigen yang berasal dari udara telah memenuhi reaksi dengan karbon hingga membentuk  $CO_2$ .

## **2. Hidrokarbon (HC)**

Hidrokarbon (HC) terdiri dari ikatan karbon (C) dan hidrogen (H). Emisi hidrokarbon dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna disebabkan campuran udara dan bahan bakar yang terjadi kekurangan kadaroksigen didalam udara. Dalam proses pembakaran hidrokaarbon yang tidak terbakar didalam ruang bakar lepas keluar ke lingkungan sekitar (Robert, 2006).

Pada campuran miskin, konsentrasi hidrokarbon meningkat. Hal ini disebabkan kurangnya suplai bahan bakar sehingga didalam ruang bakar terjadi perambatan bunga api yang lambat dan bahan bakar keluar dari ruang bakar sebelum terbakar dengan sempurna, dan pada campuran kaya konsentrasi hidrokarbon meningkat dikarenakan hidrokarbon yang terkandung didalam bahan bakar tidak terbakar sempurna karena minimnya oksigen sebagai oksidator saat proses pembakaran sehingga hidrokarbon yang tidak terbakar keluar dari ruang bakar ke lingkungan sekitar.

Ada pun penyebab lain yang menghasilkan HC, yaitu:

- a. Temperatur dibeberapa bagian dinding ruang bakar rendah mengakibatkan HC disekitaran dinding ruang bakar tidak terbakar.
- b. Pengapian yang tidak sesuai (*missfiring*).
- c. *Overlap intake valve* (kedua katub bersama-sama terbuka), sehingga saat bahan bakar memasuki ruang bakar juga terjadi pengeluaran bahan bakar dari ruang bakar karena kedua katup terbuka bersamaan.

(Swisscontact,2001)

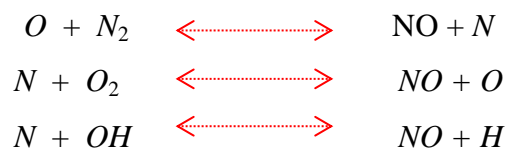
### 3. Nitrogen Oksida ( $NO_x$ )

Nitrogen oksida ( $NO_x$ ) adalah emisi yang dihasilkan oleh pembakaran pada temperatur dan tekanan tinggi. Udara yang digunakan saat proses pembakaran mengandung nitrogen sekitar 79%. Pada temperatur yang cukup tinggi (1800 °C – 2000 °C) nitrogen pada campuran bahan bakar dengan udara bersatu dan membentuk nitrogen oksida.



Gas NO yang bereaksi di udara membentuk  $NO_2$ . Pada proses pembakaran di atas 2000 °C dimungkinkan produksi gas  $NO_x$  sangat besar.  $NO_x$  di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4%  $NO_2$  dan sisanya  $N_2O$ ,  $N_2O_3$ .

Reaksi terbentuknya NO adalah sebagai berikut:



Pembentukan gas  $NO_x$  juga tergantung dari perbandingan jumlah bahan bakar dan udara yang dihisap kedalam ruang bakar dan temperatur kerja mesin. Pada saat rentang campuran kaya ada kenaikan kadar  $NO_x$  seiring dengan naiknya konsentrasi oksigen. Pada rentang campuran kurus konsentrasi  $NO_x$  turun akibat turunnya temperatur kerja (Mahallawy,2002).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 3**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (Lab. TPBB), Teknik Mesin, ITS.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

##### **1. Variabel Stimulus (*Independent Variable*)**

Variabel Stimulus dalam penelitian yang dilakukan terdiri dari 2 kelompok, yaitu

- a. Kelompok Unjuk kerja GHHO adalah elektroda berbahan titanium *grade* 1 (katoda) dan stainless steel 304 (anoda) dengan dimensi 80x80x1 mm, total elektroda 12 buah (6 buah anoda dan 6 buah katoda), komposisi elektrolit terdiri dari katalis (KOH) 1 gr tiap 1 liter aquades.
- b. Kelompok Unjuk kerja sepeda motor adalah bahan bakar PERTAMAX RON 92 produksi PERTAMINA dan bahan bakar gas HHO yang diaplikasikan pada sepeda motor HONDA CB 150 R dengan volume ruang bakar 150 cc.

##### **2. Variabel Kontrol (*Control Variable*)**

Variabel Kontrol adalah variabel yang mengontrol serta variasi pengujian. Pada penelitian ini terdiri 2 kelompok, yaitu

- a. Kelompok Unjuk kerja GHHO adalah penambahan PWM dengan variasi *duty cycle* 20%, 40%, 60%, & 80% dan tanpa penambahan PWM (*direct connection*), frekuensi PWM 1 kHz, temperatur elektrolit  $\leq 70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , waktu pengujian setiap 10 menit.
- b. Kelompok Unjuk kerja mesin sepeda motor adalah putaran mesin antara 4.000 – 9.000 rpm (tiap 1000 rpm), temperatur awal mesin 90°C

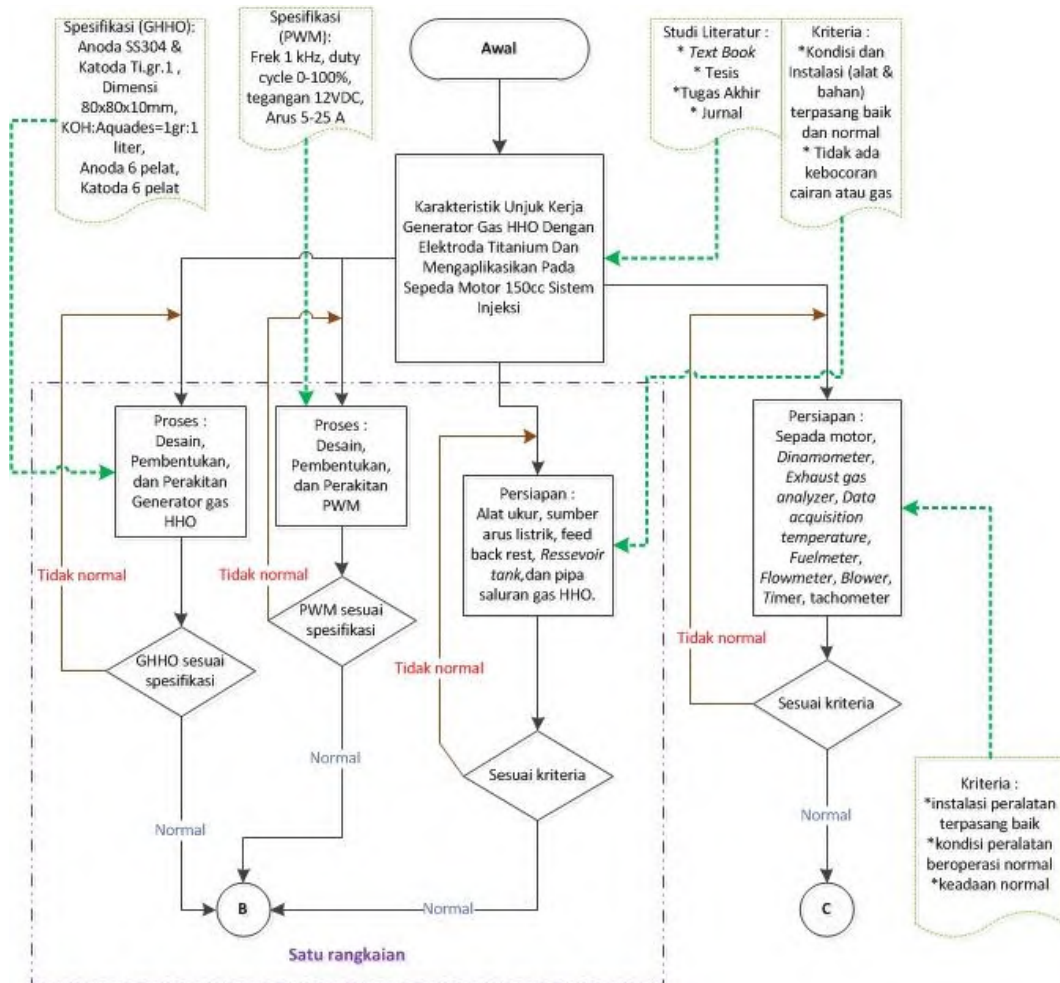
### 3. Variabel Akibat (Dependent Variable)

Variabel Akibat dalam penelitian ini terdiri dari 2 kelompok, yaitu

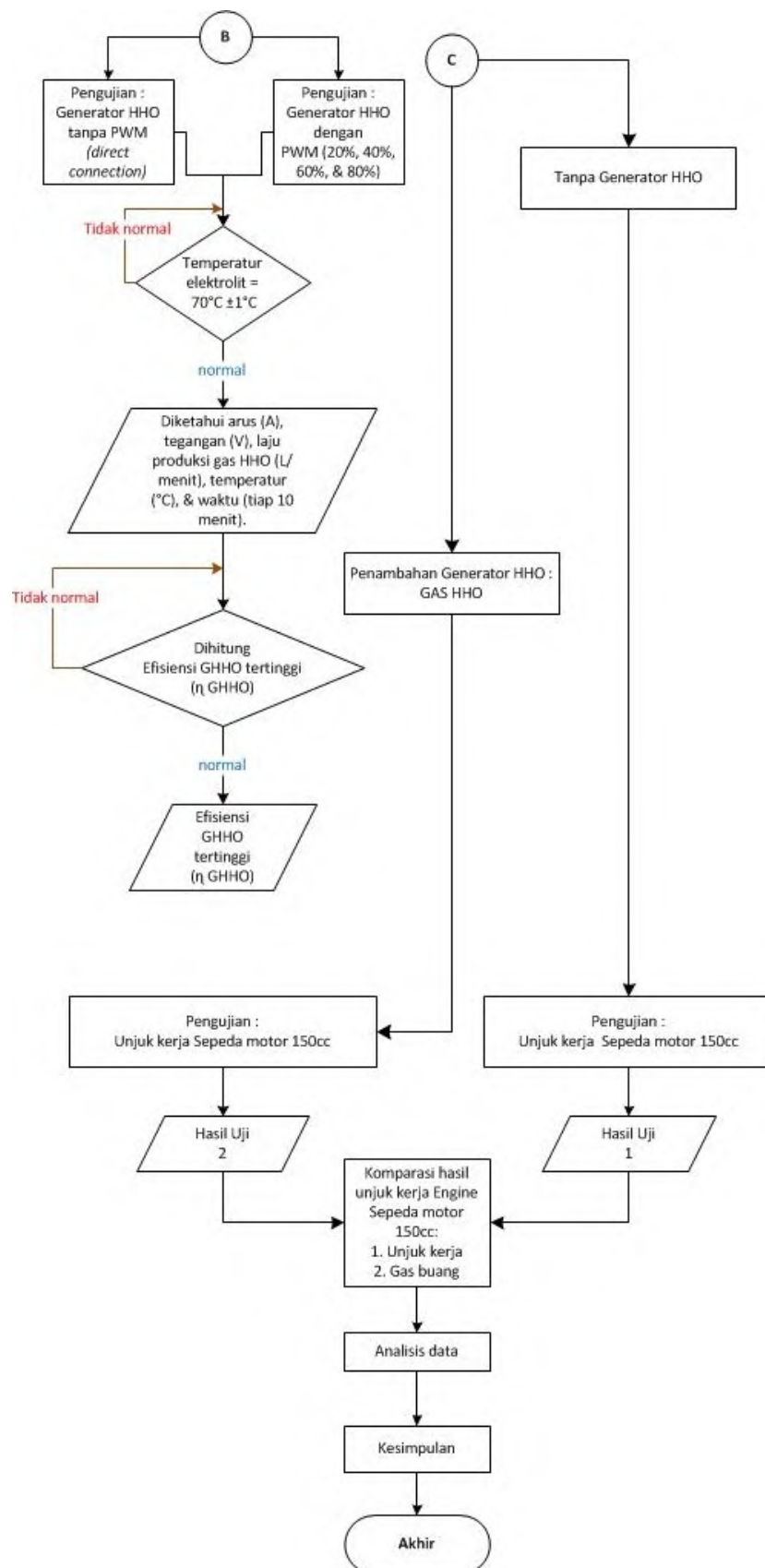
- a. Kelompok Unjuk kerja GHHO adalah Arus (A), tegangan listrik (V), temperatur elektrolit ( $^{\circ}\text{C}$ ), waktu pengujian (menit), dan debit gas HHO (liter/menit).
- b. Unjuk kerja mesin sepeda motor berupa torsi ( $\tau$ ), laju konsumsi bahan bakar bensin (ml/detik), data akusisi temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kuantitas gas buang yaitu  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ , dan  $\text{O}_2$

### 3.3 Rancangan/Skema Penelitian (*flow chart*)

Rancangan/Skema penelitian berupa deskripsi tentang prosedur / tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan dan menganalisis data. Skema penelitian (*flow chart*/diagram alir) ditampilkan pada Gambar 3.1 & 3.2



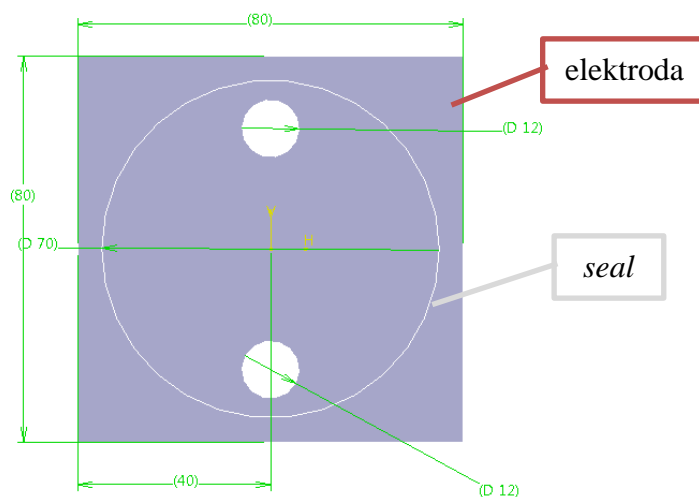
Gambar 3.1 Diagram Alir (*flow chart*) Penelitian – awal



Gambar 3.2 Diagram Alir (flow chart) Penelitian – akhir

### 3.4 Desain Generator gas HHO tipe *Dry cell*

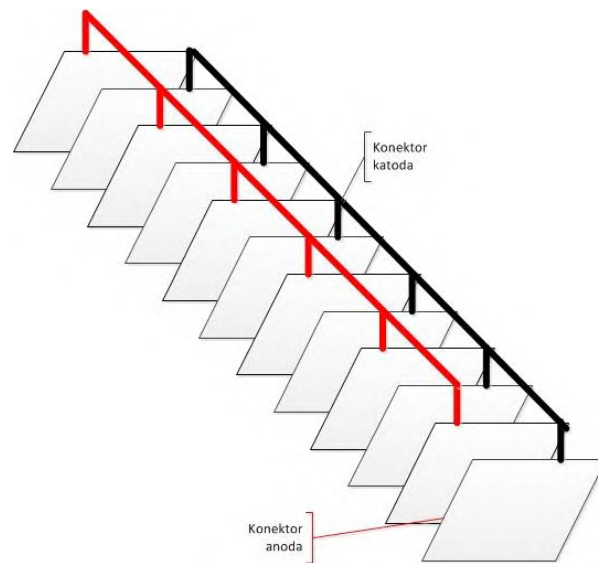
1. Persiapan bahan utama generator gas HHO tipe *Dry cell*
  - a. Metal Titanium *pure* (grade 1)
  - b. *Acrylic*
  - c. *Gasket (seal)*
2. Ditentukan pelat titanium sebagai katoda dan anoda dengan dimensi panjang 80 mm, lebar 80 mm dan tebal 1 mm
3. Buatlah lubang dibagian atas dan bawah elektroda yang terletak didalam luasan *seal* dengan dimensi  $\varnothing$  12 mm. Desain elektroda terlihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Desain elektroda dalam satuan milimeter

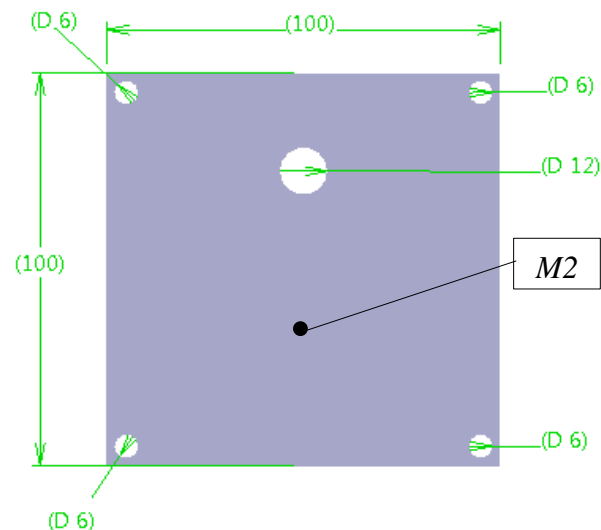
4. Bentuk elektroda dengan menambahkan potongan pelat dengan cara di las.  
Desain penambahan potongan pelat terlihat pada Gambar 3.4





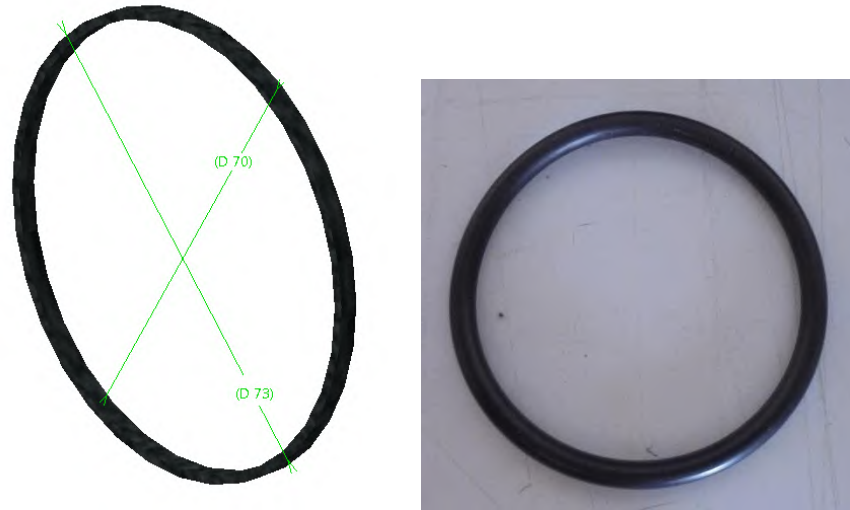
Gambar 3.4 Desain penambahan konektor antar elektroda

5. Bentuk *Acrylic* dengan dimensi 100 x 100 x 10 mm. Buat lubang sebagai saluran elektrolit (bawah) dan gas HHO (atas) dengan dimensi 8 mm. Tambahkan 1 lubang dimensi M2 untuk peletakan sensor termometer dan rekatkan dengan lem gasket. Desain *Acrylic* terlihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Desain *Acrylic* dalam satuan milimeter

6. Pembatas antar pelat (elektroda) maupun *acrylic* digunakan *seal*. *Seal* yang diaplikasikan berbahan karet/*rubber*. Secara umum *seal* diaplikasi pada konstruksi *pneumatic* atau *packing engine* sehingga memiliki ketahanan terhadap tekanan dan temperatur. Desain *seal* terlihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Dimensi *seal* dalam diameter satuan milimeter

### 3.5 Proses Pembentukan dan Perangkaian Generator gas HHO tipe Dry cell

1. Persiapkan alat dan bahan

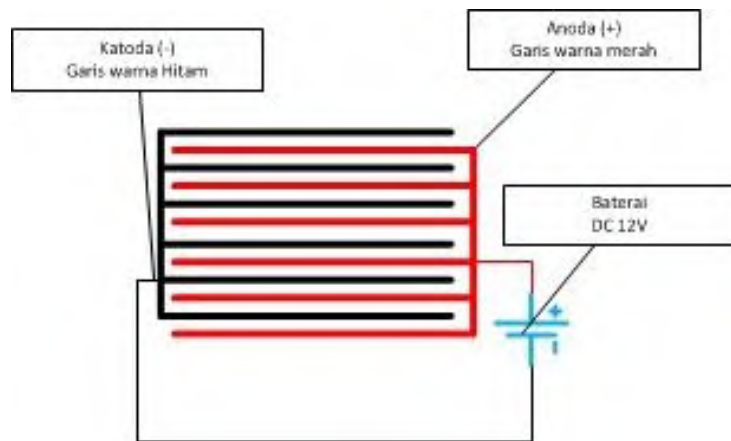
Tabel 3.1 Perlengkapan alat pembentukan dan perangkaian generator gas HHO tipe *Dry cell*

Alat			
Jenis	Spesifikasi	Kuantitas	Dimensi
<i>Kunci ring / pas</i>	Besi	1 buah	M6, M8
Obeng	Plus (+)	1 buah	-
Obeng	Minus (-)	1 buah	-
Palu	Karet	1 buah	
Timbangan (scale)	I-2000 200gr (0,01 gr)	1 buah	11x13cm
Jangka sorong	Tricle Brand 15cm (0,05 mm)	1 buah	8x25cm
Mata bor	HSS/ Titanium M2, M6 & M8	1 buah	M6 & M8
Mata pemotong	HSS/ Titanium	1 buah	4 in
Bor duduk	M2, M6, M8,	1 buah	M6, M8
Gerinda duduk	Maktech MT-90	1 buah	4 in
Tang kombinasi	Besi	1 buah	-
Gelas Bekker	HERMA 300cc	1 buah	-
Gelas Ukur	HERMA 1000ml (10ml)	1 buah	-
	100ml (1,0ml)	1 buah	-
Spatula	Kaca	2 buah	-
Las listrik	Lakoni	1 buah	900 watt

Tabel 3.2 Kelengkapan bahan pembentukan dan perangkaian generator gas HHO tipe *Dry cell*

<b>Bahan</b>			
Jenis bahan	Spesifikasi	Dimensi	Kuantitas
Titanium <i>Pure</i>	Grade 1	70x70 mm	15 lembar
Poly (methyl methacrylate)	<i>Acrylic</i>	100x100 mm	2 lembar
<i>Seal</i>	<i>Rubber</i>	Ø 70 mm	16 buah
Baut standart	<i>Stainless steel</i>	M6	4 buah
Baut kuping	<i>Stainless steel</i>	M6	2 buah
Mur	<i>Stainless steel</i>	M6	1 meter
<i>Reservoir tank</i>	Plastik (16470-06010)	9x7,5x20 cm	1 buah
<i>Feed back rest</i>	Gea Dinding XY-98B II	optional	1 buah
Pipa elastis	<i>Polyurethane</i>	Ø 6 x 8 mm	2 meter
Elektrolite	Aquades	≈ 0,995 kg/lt	1 liter
Katalis – Basa Kuat	KOH	Serbuk	10 gram
Elektroda las	<i>TIG – stainless steel</i>	dia.<1,6mm	2 batang
Aquades (H <sub>2</sub> O)	cairan	1kg/1liter	10 liter
Lem gasket	<i>Silikon</i>	Cairan	10 gram

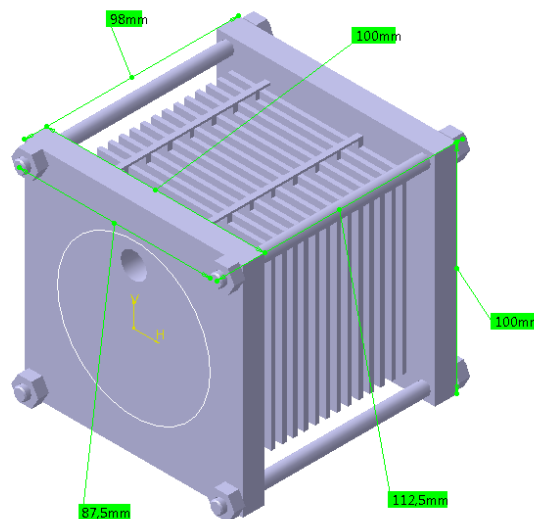
2. Persiapkan *acrylic* dengan melubangi sisi depan bagian atas (satu sumbu dengan lubang elektroda bagian atas) dan buat lubang pada sisi belakang satu sumbu dengan lubang elektroda bagian bawah.
3. Perakitan diawali dengan peletakan *acrylic* sisi depan selanjutnya secara berurutan disusun pelat anoda dan pelat katoda dan *acrylic* sisi belakang, diantara susunan ditambahkan seal sebagai pemberi jarak antar susunan, untuk mempermudah penyusunan penggunaan baut untuk poros dan mur sebagai pengikat antar susunan, secara visualisasi terlihat pada Gambar 3.7



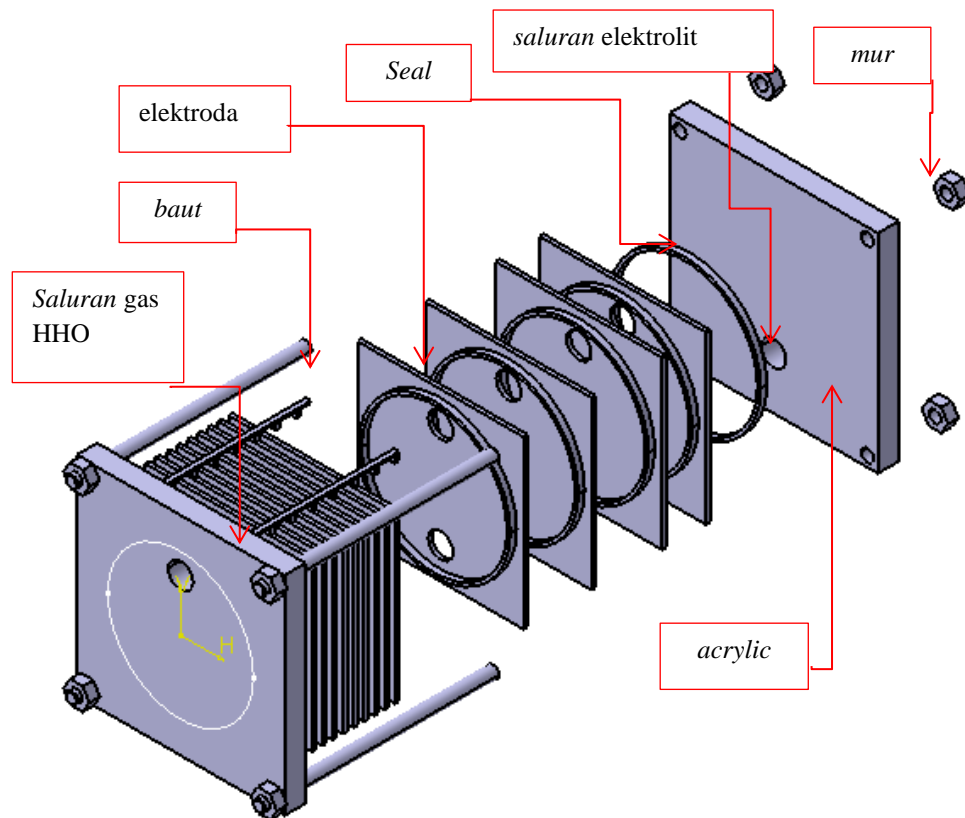
Gambar 3.7 Skema penyusunan kelistrikan pada elektroda generator gas HHO

Setelah terpasang baut dan tersusun pelat serta *acrylic*, selanjutnya pemasangan dan pengencangan mur dimensi M6 secara teturut.

4. Pengukuran dimensi panjang generator gas HHO, pastikan dimensi presisi dan sama. Ilustrasi dan desain generator gas HHO terlihat pada Gambar 3.8.a untuk desain yang terangkai & 3.8.b untuk desain tidak terangkai



Gambar 3.8.a Desain generator gas HHO (GHHO) terangkai

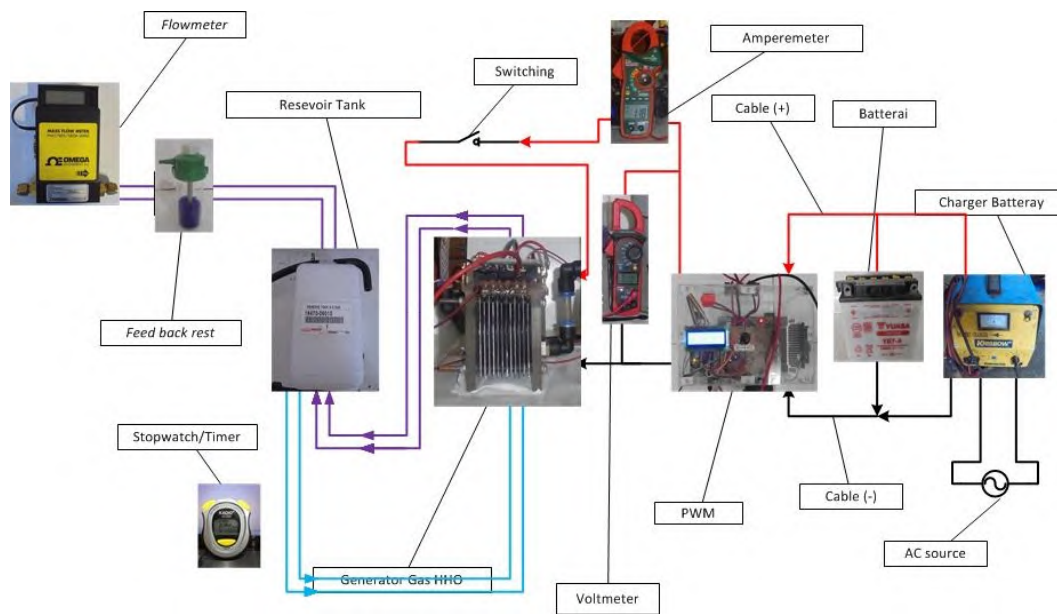


Gambar 3.8.b Desain generator gas HHO (GHHO) tidak terangkai

### 3. 6 Peralatan dan Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri dari alat uji dan alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian. Langkah dalam penelitian ini antara lain:

1. Persiapan unjuk kerja generator gas HHO (GHHO)
2. Persiapkan alat uji dan alat ukur yang dibutuhkan untuk penelitian
3. Persiapkan seluruh rangkaian peralatan seperti Gambar 3.9



Gambar 3.9 Skema pengujian generator gas HHO (GHHO)

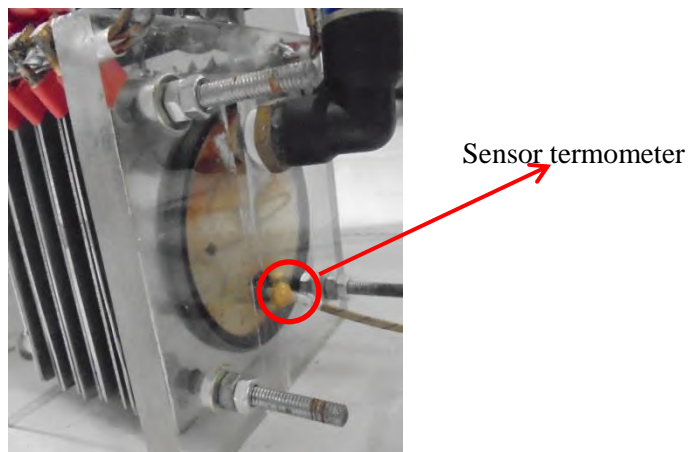
4. Persiapkan larutan elektrolit yang terdiri dari katalis (KOH) serta Aquades, dengan perbandingan 1 gram KOH : 1 liter aquades. Gunakan gelas ukuran 1000ml untuk aquades. Larutkan KOH dalam aquades dengan menggunakan gelas bekker.
5. Masukkan larutan elektrolit ke dalam generator gas HHO dan *resevoir tank*
6. Masukkan aquades ke dalam *reservoir tank* hingga mencapai batas maksimum
7. Pastikan tidak ada kebocoran cairan di generator gas HHO dan *reservoir tank* serta sambungan pipa.
8. Pastikan alat ukur voltmeter, amperemeter, flowmeter, dan termometer bekerja dengan normal
9. Sambung seluruh rangkaian kelistrikan dan pastikan tidak ada kesalahan dalam penyambungan kutub positif (+) dan kutub negatif (-) secara beraturan dari *charger* baterai, baterai, generator gas HHO, voltmeter, dan amperemeter
10. Sambungkan *feed back rest* dan alat ukur debit gas HHO menggunakan pipa plastik elastis melalui konektor. Dan terpenting pastikan tidak ada kebocoran cairan atau gas dalam rangkaian.

### 3.7 Pengujian Unjuk Kerja Generator gas HHO (GHHO)

Setelah melakukan tahap persiapan, selanjutnya dilakukan pengujian unjuk kerja GHHO. Pengujian unjuk kerja dilakukan pada GHHO dengan dan tanpa penambahan PWM.

#### 3.7.1 Pengujian Tanpa penambahan PWM

1. Rangkai alat uji dan alat ukur sesuai Gambar 3.9, tanpa penambahan PWM
2. Pastikan seluruh alat ukur siap dioperasikan
3. Rendam sensor termometer (termokopel) di elektrolit. Sesuaikan dengan Gambar 3.10



Gambar 3.10 Skema pengukuran temperatur elektrolit dengan termokopel

4. Saat bersamaan nyalakan GHHO dan mulai mengukur waktu
5. Lakukan pengukuran setiap 10 menit selama 60 menit. Catat temperatur elektrolit, arus listrik, tegangan listrik, serta debit gas HHO.
6. Lakukan pengukuran hingga temperatur  $\leq 70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  atau waktu pengujian  $\leq 240$  menit
7. Lakukan pencatatan dengan menyesuaikan Tabel 3.3 lembar data pengujian GHHO tanpa PWM (direct connection)
8. Matikan GHHO setelah pengambilan data.



Tabel 3.3 Lembar data pengujian GHHO tanpa PWM

No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (Hz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)			Debit gas (Liter/menit)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
dst													

### 3.7.2 Pengujian dengan penambahan PWM

1. Rangkaian GHHO sesuaikan dengan Gambar 3.9
2. Prosedur pengukuran disesuaikan dengan “pengujian tanpa PWM”
3. Variasikan *Duty Cycle* 20%, 40%, 60%, dan 80%
4. Lakukan pencatatan dengan menyesuaikan Tabel 3.4 lembar data pengujian GHHO variasi *duty cycle* PWM.

Tabel 3.4 Lembar Data Pengujian GHHO Variasi *Duty Cycle*

No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (Hz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Temperatur Elektrolit (°C)			Debit gas (Liter/menit)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
dst													

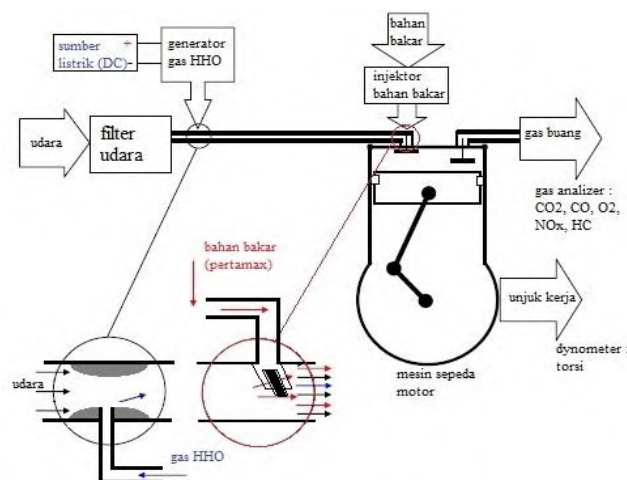
9. Setelah pencatatan matikan saklar listrik GHHO.
10. Buang elektrolit GHHO dan ganti dengan elektrolit baru.
11. Pastikan temperatur elektrolit seperti data temperatur awal pengujian tanpa PWM.

12. Lakukan pengujian dengan variasi *duty cycle* lainnya.
13. Matikan GHHO setelah pengambilan data
14. Untuk pembilasan, lakukan pergantian elektrolit dengan aquades  $H_2O$ .
15. Kosongkan elektrolit dari GHHO

### 3.8 Proses pemasukan gas HHO kedalam mesin

Setelah didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada karakteristik GHHO, langkah selanjutnya mengaplikasikan GHHO kedalam mesin. Persiapan pengujian unjuk kerja dengan pemasukan generator gas HHO tipe *Dry cell* melalui tetahapan

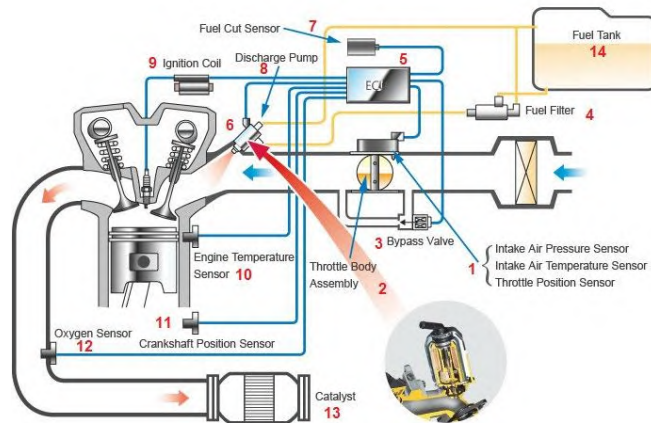
1. Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan
2. Pemasangan pipa sirkulasi air elektrolisis pada *resevoir tank* dan *feed back rest*
3. Menghubungkan pipa gas HHO dari *flowmeter*, *resevoir tank* hingga ke *feed back rest* selanjutnya dari *feed back rest* dihubungkan ke saluran udara sepeda motor yang diuji. Gas HHO masuk melalui saluran udara berbentuk *venture* kedalam ruangbakar, saluran udara berbentuk *venture* berfungsi menurunkan tekanan dan menaikkan kecepatan udara yang dihasilkan dari kevakuman ruang bakar pada kondisi langkah hisap, sehingga gas HHO yang tidak bertekanan (1 atm) akan terhisap masuk ke saluran udara melalui *venture* menuju ruang bakar. Ratio pipa gas HHO 12mm dengan pipa aliran udara (intake manifold) 63,5 mm senilai 1:5,29 Terlihat pada Gambar 3.11 skema pemasukan gas HHO pada saluran udara



Gambar 3.11 Skema pemasukan gas HHO pada saluran udara

4. Sambung kabel antara generator gas HHO dengan baterai (aki) sesuai pengkutuban yang telah ditentukan, diantara kabel generator gas HHO dan aki dihubungkan kabel kunci kontak sepeda motor, hal ini difungsikan sebagai *safety* pada generator gas HHO supaya tetap terkontrol kondisi ON atau OFF.
5. Kabel saklar generator gas HHO dihubungkan ke terminal positif melalui *relay*. Fungsi *relay* (*saklar elektrik*) pada rangkaian kelistrikan generator gas hho selain sebagai saklar, juga difungsikan untuk mengurangi *losses* akibat hambatan pada kabel.
6. Pelarutan KOH dengan aquades sebagai elektrolit didalam gelas *bekker*, aduk hingga terjadi perubahan warna cairan dan tidak ada endapan putih, yang mengindikasikan KOH terlarut dalam aquades.
7. Memasukan elektrolit kedalam *resevoir tank* hingga batas maksimum dan ruang antar elektroda hingga terisi penuh.
8. Memasukan aquades ke dalam *feed back rest* hingga mencapai batas maksimum.
9. Memastikan saluran generator gas HHO tidak mengalami kebocoran
10. Mengaktifkan mesin sepeda motor, lalu tekan saklar generator gas HHO dari kondisi OFF ke ON.
11. Memastikan gas HHO telah diproduksi (terlihat gelembung di *resevoir tank* atau di *feed back rest*). Jika tidak terjadi produksi gas HHO, cek instalasi kelistrikan.
12. Jika gas HHO terproduksi dengan indikasi ada gelembung/buih diantara elektroda, maka siap digunakan
13. Ketika saklar kelistrikan diposisikan ON terjadi aliran arus listrik karena ada beda potensial antara baterai dan generator gas HHO, hal ini menyebabkan terjadinya proses elektrolisis antara elektroda dan elektrolit sehingga menghasilkan gas HHO.
14. Gas HHO mengalir melalui pipa menuju *resevoir tank* saat volume gas telah melampaui volume *resevoir tank*, maka gas HHO akan mengalir menuju ke *feed back rest* dan seterusnya hingga gas HHO masuk ke

saluran udara bahan bakar mesin sepeda motor. Alur aliran bahan bakar menuju ruang bakar melalui injektor terlihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Skema aliran bahan bakar menuju ke ruang bakar mesin  
(Astra,2012)

### 3.9 Persiapan dan pengujian aplikasi gas HHO pada sepeda motor

Tahapan ini mendeskripsikan penggunaan instrumentasi penelitian. Instrumentasi penelitian dideskripsikan sebagai berikut

## 1. Mesin Sepeda Motor

Mesin yang dipergunakan untuk pengujian dalam penelitian ini adalah sepeda motor merk HONDA jenis CB150R (terlihat pada Gambar 3.13) perakitan dengan spesifikasi sebagai berikut, terlihat pada Tabel 3.5



Gambar 3.13 Sepeda motor CB150R

Tabel 3.5 Spesifikasi sepeda motor bermotor CB150R

Tipe	All New Honda CB150R StreetFire
<b>Dimensi</b>	
Panjang X Lebar X Tinggi	2.019 x 719 x 1.039 mm
Berat kosong	136 kg
Kapasitas tangki bahan bakar	12 liter
<b>Mesin</b>	
Mesin	4 langkah, DOHC - 4 katup
Kelas	150 cc
Volume Langkah	149,16 cc
Diameter X Langkah	57,3 x 57,8
Perbandingan Kompresi	11.3 : 1
Daya Maksimum	12,4 kW (16.9 PS) / 9.000 rpm
Torsi Maksimum	13.8 Nm (1,41 kgf.m) / 7.000 rpm
Kapasitas Minyak Pelumas Mesin	1.1
Tipe Transmsi	Manual, 6-Kecepatan
<b>Kelistrikan</b>	
Tipe Baterai	MF battery, 12 V - 5 Ah
Busi	NGK MR9C-9N / ND U27EPR-N9
Pengapian	Full Transisterized

Sumber: Astra,2012

## 2. Exhaust Gas Analyzer

*Exhaust Gas Analyzer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang yang merupakan hasil dari proses pembakaran mesin. Merek yang digunakan adalah *STAR GAS 898* (terlihat pada Gambar 3.14). Spesifikasi terlihat pada Tabel 3.6



Gambar 3.14 *Gas Analyzer* merek STARGAS tipe 898 (Stargas family,DP0212)

Tabel 3.6 Spesifikasi *Gas Analyzer* tipe 898

<i>Technical specifications STAR GAS 898</i>	
<i>Main power supply</i>	<i>Mains 90 ÷ 270V, Batteray 10 ÷ 16 V</i>
<i>Measuring range</i>	<i>CO 0 ÷ 15.000 % Vol CO<sub>2</sub> 0 ÷ 20,00 % Vol HC 0 ÷ 30000 ppm Vol O<sub>2</sub> 0 ÷ 25,00 % Vol NO<sub>x</sub> 0 ÷ 5000 % Vol Lambda 0,5 ÷ 2,000</i>
<i>Operating temperature</i>	<i>+ 5° ÷ +40° C</i>
<i>Measuring gas induction</i>	<i>10l/m (approx)</i>
<i>Response time</i>	<i>&lt; 10 sec (probe length 3m)</i>
<i>Warm up time</i>	<i>60 sec. Maximum</i>

Sumber: Stargas family,DP0212

### 3. Dinamometer – *water brake*

*Water brake Dynamometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan mesin. *Water brake Dynamometer* (terlihat pada Gambar 3.15) di Laboratorium TPBB Teknik Mesin ITS dengan spesifikasi terlihat pada Tabel 3.7



Gambar 3.15 *Dynamometer tipe Water brake*

Tabel 3.7 Spesifikasi *Water Brake Dynamometer*

Merek	DYNomite 9"
Tipe	<i>stator toroidal water brake absorber</i>
Operational Range	<i>1,000 Hp (3,000+ at higher RPM with Siamese rotor)</i>
Ability	<i>3,500 foot-pounds</i>
Censor type	<i>heavy-duty electronic torque arm transducer</i>
Input type	<i>Splined vibration dampening couplers mate the engine's crankshaft to the absorber via heat treated shafts</i>
Output type	<i>Torque</i>

Sumber: Land&sea,2014

#### 4. *Stopwatch*

Alat ukur waktu yang digunakan adalah stopwatch jenis digital (terlihat pada Gambar 3.16), dengan spesifikasi (terlihat pada Tabel 3.16) sebagai berikut :



Gambar 3.16 *Stopwatch* jenis digital

Tabel 3.8 Spesifikasi *stopwatch*

Merek	KADIO
Material	ABS polymer
Tipe	KD-2005
Dimensi	56mm x 68mm x 17mm
Keakurasian	1/100 detik

Sumber: Kadio, 2016

#### 5. *Blower*

Blower merupakan alat yang digunakan untuk mendinginkan udara dilingkup pengujian. Deskripsi *blower* terlihat pada Tabel 3.8 dan visualisasi *blower* terlihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 *Blower* udara



Tabel 3.9 Spesifikasi *Blower* udara

Merek	SpekTech
Jenis	Kipas portable ventilator
Tipe	SHT - 45
Dimensi	450mm (18")
Tegangan	220 VAC
Daya	1700 W
Kapasitas udara	125 m <sup>3</sup> /min
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan	2800 r/min
Tekanan angin	972 Pa

Sumber: Spektech,2016

#### 6. Akusisi data temperatur (Termometer)

Pengukuran temperatur dilakukan pada *exhaust gas*, oli pelumas mesin, mesin, air radiator dan elektrolit generator gas HHO menggunakan alat ukur temperatur dengan 4 *thermocouple* yang terbaca dalam satu alat ukur. Pengukuran temperatur GHHO dilakukan dengan termometer dengan termokopel tipe K. Berikut alat ukur temperatur terlihat pada Gambar 3.18 dan spesifikasi pada Tabel 3.9.



Gambar 3.18 Alat ukur temperatur 4 *channel thermocouple*

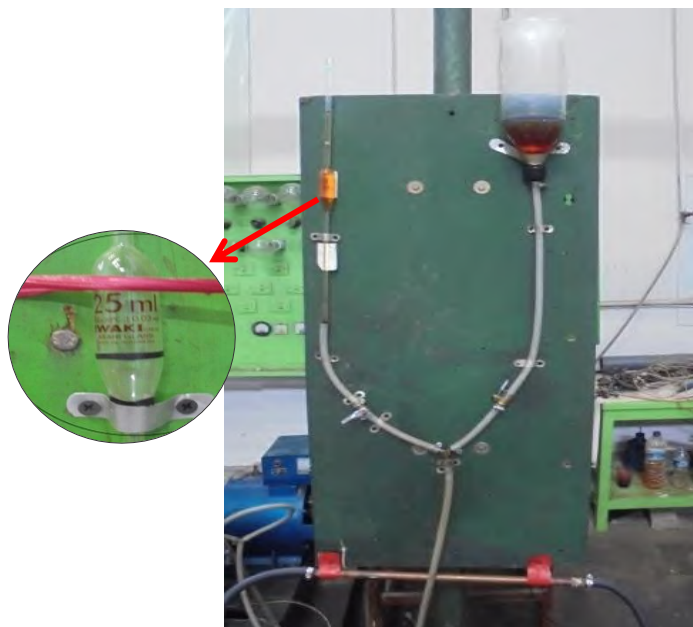
Tabel 3.10 Spesifikasi akusisi data temperatur

Merek	XINTEX
Tipe	HT-9815
Temperature range	-200 – 1372 °C ( -328 – 2051 °F)
Accuracy	> 100 °C (-148 °F): $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ) > 100 °C (-148 °F): $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 3,6^{\circ}\text{F}$ )
Type K temperature resolution	< 1000 °C : 0,1 °C /°F/K > 1000 °C : 1 °C/ °F/K
Size	200 x 85 x 38 mm
Weight	230 g
Quantity Thermocouple	4 channel

Sumber: Xintex,2016

#### 7. Alat ukur debit aliran bahan bakar (*fuelmeter*)

Alat ukur debit aliran bahan bakar bensin yang digunakan berkapasitas 25 ml dengan ketelitian 1ml. Peletakan saluran bahan bakar bensin pada mesin menggantikan saluran bahan bakar utama sebelum masuk ke injektor sepeda motor.



Gambar 3.19 Alat ukur debit aliran bahan bakar bensin -*fuelmeter*

#### 8. Alat ukur debit aliran gas HHO (*flowmeter*)

Pengukuran debit gas HHO menggunakan *flowmeter*. *Flowmeter* yang digunakan merupakan alat ukur debit aliran gas nitrogen. Data yang didapat dari alat ukur dilakukan perhitungan terlebih dahulu sehingga didapatkan nilai debit gas HHO.



Gambar 3.20 *Flowmeter* gas

Tabel 3.11 Spesifikasi *flowmeter* gas

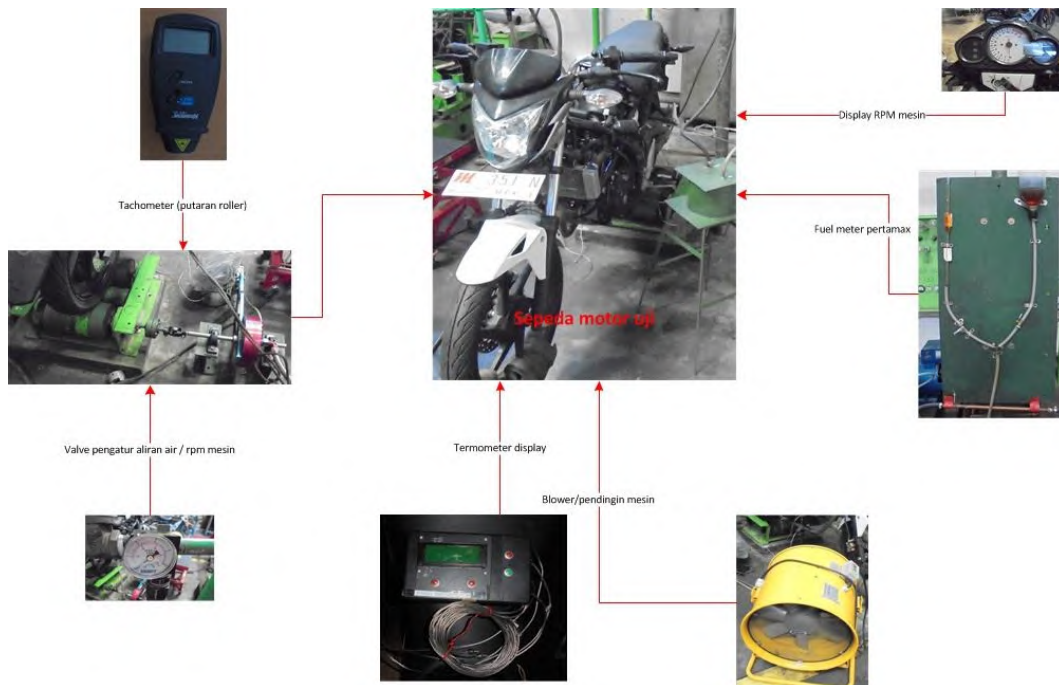
<i>Merk</i>	Omega
<i>Model</i>	FMA 1700/1800 - 1823 ST
<i>Flow range</i>	0-15 L/min.
<i>Gas&amp;ambient temp.</i>	0°C – 50°C
<i>Accuracy</i>	± 15 %
<i>Temperature Coef.</i>	0,15% of full scale /°C
<i>Pressure Coef.</i>	0,01% of full scale / psi (0,07 bar)

Sumber: Omega,2016.

Berikut merupakan tahapan proses pengujian :

1. Mengatur letak peralatan pengujian dan pengukuran untuk memudahkan penggunaan alat-alat tersebut. Dan dipastikan tata letak peralatan dalam kondisi aman supaya tidak terjadi kesalahan atau kecelakaan kerja.
2. Pengecekan peralatan pengujian & pengukuran, pastikan dalam keadaan normal dan siap difungsikan.

- Memposisikan sepeda motor terhubung dengan dinamometer, *exhaust gas analyzer*, *data acquisition temperatur*, *fuelmeter*, *flowmeter* dan saluran gas HHO. Tataletak peralatan terlihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Skema alat ukur pengujian unjuk kerja sepeda motor

- Memposisikan *blower* berhadapan dengan sepeda motor, *blower* difungsikan sebagai pendingin.

### 3. 10 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian gas buang dan unjuk kerja mesin dilakukan pada sepeda motor tanpa penambahan GHHO dan sepeda motor dengan penambahan GHHO.

#### 3.10.1 Pengujian Gas Buang

Prosedur pengukuran emisi gas buang mesin sebagai berikut :

- Mempersiapkan sepeda motor yang akan diuji emisinya.
- Melakukan pengecekan pipa gas buang knalpot. Pastikan tidak ada kerusakan yang mengakibatkan kebocoran gas buang.
- Mengkondisikan transmisi dalam keadaan netral (N)
- Mengkondisikan *choke* dalam keadaan tidak bekerja (OFF)

5. Memastikan dan mengkondisikan temperatur kerja pada sepeda motor sesuai dengan temperatur kerja
6. Melakukan pemasangan peralatan pengukur, seperti termometer oli, termometer mesin, termometer gas buang, sensor putaran mesin (rpm) pada sepeda motor uji
7. Memasukan sensor gas (*gas probe*) kedalam pipa gas buang, hingga kedalaman 30 cm dari mulut knalpot (BSN,2016). Untuk mengurangi kesalahan data pengukuran.
8. Meneliti data hasil pengukuran *gas analyzer* berupa *printout*, dan catatan manual data selain gas buang

### 3.10.2 Pengujian Unjuk kerja Mesin

Pengujian unjuk kerja mesin dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memastikan kinerja sepeda motor dengan cara melakukan *service & tune-up* pada sepeda motor yang akan diuji
2. Melepaskan bagian motor samping (sampul penutup baterai).
3. Melepaskan bagian motor untuk di sambung dengan *roller Dynometer water brake*
4. Melakukan penguncian supaya motor tidak bergerak dengan penambahan pengikat body & chasis
5. Mempersiapkan peralatan pendukung seperti :
  - a. *dynometer water brake*
  - b. *gas analyzer*
  - c. akuisisi data temperatur(oli, mesin blok atas,mesin blok bawah dan *exhaust*) detail peletakan termokopel di lampiran
  - d. *fuelmeter*
  - e. *stopwatch*
  - f. *blower*
  - g. *flowmeter*
6. Mengaktifkan *Dynometer water brake*
7. Mengaktifkan mesin sepeda motor hingga temperatur 90 °C
8. Memposisikan gigi transmisi pada kondisi netral dengan putaran mesin ideal  $1500 \pm 100$  rpm

9. Mengkondisikan gigi pada posisi TOP GEAR
10. Menaikan putaran mesin hingga 2000 rpm
11. Mengkondisikan full open throttle (buka penuh handle gas)
12. Memulai merekam data pada putaran mesin 9000 rpm
13. Melakukan penurunan hingga putaran mesin 4.000 rpm dengan memutar *valve* pipa air *water brake*.
14. Merekam data berikutnya pada putaran mesin 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 rpm.
15. Pengambilan data dilakukan x3 pengulangan dan dicatat dalam Tabel 3.12 & Tabel 3.13
16. Menurunkan putaran mesin hingga kondisi ideal (no.8)

Tabel 3.12 Lembar data pengujian unjuk kerja sepeda motor tanpa penambahan gas HHO

TEST SHEET - PERFORMANCE ENGINE														
DATE&TIME : 30 JUNI 2016		TYPE ENGINE 4 STROKE - DOHC		WORK ORDER		TYPE GAS ANALYZER : STAR GAS			GAS ANALYZER					
DYNAMOMETER TYPE WATER BRAKE			DYNAMOMETER TORQUE ARM			BORE (mm) 57,3			NOTE :					
CYLINDERS 1	AIR TEMP.(°C) 30	FUEL BENSIN - PERTAMAX	OIL MPX1,10W30 SJMA 1L	SWEPT VOL(cc) 149,16		STROKE (mm) 57,8								
				GEAR NUMBER N / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6										
ENGINE RPM (rev/min)	TORQUE LOAD (kgf.m)	DYNO RPM (rev/min)	TIME C.F. (secon/25ml)	TEMPERATUR (°C)					CO (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm vol.)	NOx (ppm vol.)	O2 (% vol.)	
				EXHAUST (T1)	OIL (T2)	ENGINE TOP (T3)	ENGINE BOTTOM (T4)	ENVIR. (T5)						
3000														
4000														
5000														
6000														
7000														
8000														
9000														

Tabel 3.13 Lembar data pengujian unjuk kerja sepeda motor dengan penambahan gas HHO

TEST SHEET - I.C. ENGINE																															
DATE & TIME : JULU 2016		1 TYPE ENGINE 4 STROKE - DOHC		WORK ORDER		TYPE GAS ANALYZER : STAR GAS				HHO GAS			NOTE GHHO : source electricity battery 10Ah 12 VDC				GAS ANALYZER														
DYNAMOMETER TYPE		WATER BRAKE		DYNAMOMETER TORQUE ARM		BORE (mm) 57,3		DUTY CYCLE (%)			20 / 40 / 60 / 80 / nonPWM				NOTE :																
CYLINDERS 1		AIR TEMP (°C) 30		FUEL BENSIN - PERTAMAX		OIL MPX1, 10W30 SIMA 1L		SWEPT VOL(cc) 149,16		STROKE (mm) 57,8					GEAR NUMBER N / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6																
ENGINE RPM (rev/min)		TORQUE LOAD (kgf.m)		DYNO RPM (rev/min)		TIME C.F. (secon/25ml)		TEMPERATUR (°C)		FLOWRATE (L/min)		TEMP. ENVIR (°C)		TEMP. ELECT ROLITE (°C)										TEMP. RESERVOIR (°C)		VOLT (V)		AMPERE (A)		CO (% vol.)	
3000																															
4000																															
5000																															
6000																															
7000																															
8000																															
9000																															

17. Mengkondisikan transmisi pada kondisi netral dan putaran mesin ideal
18. Melakukan prosedur no. 18, untuk masing-masing kondisi pengukuran
19. Melakukan prosedur no. 11 selama 30 detik atau semua data telah tercatat
20. Menonaktifkan mesin motor
21. Menonaktifkan *blower* saat temperatur blok mesin < 90°C
22. Menonaktifkan peralatan pendukung

### 3. 11 Pencapaian hasil pada penelitian ini

Penelitian dilakukan dengan harapan menghasilkan data. Beberapa parameter input dan output sehingga dihasilkan data penelitian yang sesuai harapan.

#### 1. Pengujian Generator Gas HHO

Tabel 3.14 Parameter input & output pengujian Generator Gas HHO

Parameter Input		Parameter Output	
Ditetapkan		Diukur	Dihitung
<ul style="list-style-type: none"><li>• Temperatur elektrolit GHHO (<math>\leq 70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}</math>)</li><li>• KOH 1 gr / 1 liter Aquades</li><li>• Frekuensi PWM 1 kHz</li><li>• <i>Duty cycle</i> PWM (20%, 40%, 60%, &amp; 80%)</li><li>• Sumber tegangan 12VDC</li><li>• Waktu setiap 10 menit selama 60 menit atau maksimum 240 menit</li><li>• Pengulangan pengambilan data x3 setiap variasi pengujian</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Tegangan (V)</li><li>• Arus (A)</li><li>• Temperatur elektrolit (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</li><li>• Debit gas HHO (L/menit)</li><li>• Waktu (menit ke-)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daya (W)</li><li>• Laju produksi gas HHO (kg/s)</li><li>• Produksi gas HHO spesifik (kg/J)</li><li>• Efisiensi GHHO (%)</li></ul>

Sehingga didapatkan grafik dari data parameter output sebagai berikut :

1. Unjuk kerja generator gas HHO (GHHO)
  - a. Temperatur terhadap waktu
  - b. Arus listrik terhadap waktu
  - c. Daya terhadap waktu
  - d. Laju produksi gas terhadap waktu
  - e. Laju produksi gas terhadap termperatur
  - f. Produksi gas spesifik terhadap waktu
  - g. Efisiensi terhadap waktu



## 2. Pengujian Mesin Sepeda Motor

Tabel 3.15 Parameter input & output pengujian mesin sepeda motor

Parameter Input		Parameter Output	
Ditetapkan	Diukur	Dihitung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bahan bakar pertamax</li> <li>Putaran mesin (4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000)</li> <li>Temperatur <i>ambient</i> (30°C)</li> <li>Gas HHO</li> <li>Temperatur mesin bawah (90°C)</li> </ul>	Dinamometer <ul style="list-style-type: none"> <li>Torsi (N.m)</li> </ul> <i>Gas analyzer</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gas buang (<i>complete combustion</i>) : <math>CO_2, O_2</math></li> <li>Gas buang (<i>incomplete combustion</i>) : <math>NO_x, HC, CO</math></li> </ul> Data akusisi (temperatur) <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur mesin bawah (°C)</li> <li>Temperatur Oli Mesin (°C)</li> <li>Temperatur <i>Exhaust</i> (°C)</li> <li>Temperatur blok mesin atas (°C)</li> </ul> <i>Fuelmeter</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Konsumsi bahan bakar (sekon/25ml)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daya (kW)</li> <li>Tekanan efektif rerata (kPa)</li> <li>Efisiensi thermal (%)</li> <li>Konsumsi bahan bakar spesifik (<math>\frac{kg}{kW} \cdot jam</math>)</li> </ul>	

Sehingga didapatkan grafik dari data parameter output sebagai berikut :

1. Unjuk kerja mesin sepeda motor
  - a. Grafik putaran mesin terhadap torsi pengereman (*BT-Brake Torque*)
  - b. Grafik putaran mesin terhadap daya pengereman (*BHP-Brake Power*)
  - c. Grafik putaran mesin terhadap tekanan efektif rata-rata pengereman (*BMEP-Brake Mean Effective Pressure*)
  - d. Grafik putaran mesin terhadap efisiensi termal ( $\eta_{th}$ -*Thermal Efficiency*)
  - e. Grafik putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc-specific fuel consumption*)

2. Kadar emisi gas buang

- Grafik putaran mesin terhadap kadar emisi gas karbon dioksida ( $CO_2$ )
- Grafik putaran mesin terhadap kadar emisi oksigen ( $O_2$ )
- Grafik putaran mesin terhadap kadar emisi total gas hidrokarbon ( $HC$ )
- Grafik putaran mesin terhadap kadar emisi gas karbon monoksida ( $CO$ )

**3. 12 Rencana dan jadwal kegiatan penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan dengan menyesuaikan rencana dan jadwal kegiatan penelitian. Rencana dan jadwal penelitian terlihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Rencana dan jadwal kegiatan penelitian

Kegiatan	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
Studi literatur																
Desain generator gas HHO (GHHO)																
Persiapan material GHHO																
Pembangunan GHHO																
Pengujian GHHO																
Pengolahan data hasil pengujian GHHO																
Analisis data hasil pengujian GHHO																
Desain unjuk kerja sepeda motor (SP)																
Persiapan unjuk kerja SP																
Pengujian unjuk kerja SP																
Pengolahan data hasil unjuk kerja SP																
Analisa data hasil unjuk kerja SP																
Kesimpulan penelitian																

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil penelitian dan hasil perhitungan untuk variabel kontrol dan variabel akibat/uji generator gas HHO (GHHO) serta aplikasi pada mesin sepeda motor ditampilkan dalam bentuk tabel pada lampiran 1 dan 2. Beberapa contoh perhitungan data hasil penelitian ditampilkan pada sub bab 4.2

#### 4.2 Perhitungan Unjuk Kerja Generator Gas HHO (GHHO)

Perhitungan unjuk kerja generator gas HHO dicontohkan dengan data pengujian sebagai berikut

Data pengujian :

- *duty cycle* = 40%
- Tegangan rerata GHHO ( $V_{HHO}$ ) = 5,01 V
- Arus rerata GHHO ( $I_{HHO}$ ) = 4,33 A
- Waktu Produksi gas HHO = 90 menit
- Debit gas HHO =  $5,25 \times 10^{-2} \frac{L}{menit}$

Properties gas HHO :

- Massa jenis gas HHO =  $0,491167 \frac{kg}{m^3}$
- Tekanan gas HHO = 1 atm
- Konstanta gas Universal ( $\bar{R}$ ) =  $0,08206 \frac{L.atm}{mol.K}$
- Nilai *enthalpy* ( $\Delta H$ ) *endoterm* =  $(+) 285,84 \times 10^3 \frac{J}{mol}$
- Temperatur gas HHO =  $30\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 303,15\text{ K}$

##### 4.2.1. Daya Generator Gas HHO

Daya listrik yang digunakan untuk generator gas HHO, dihitung dengan persamaan 2.1, sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 P_{HHO} &= V_{HHO} \times I_{HHO} \\
 &= 5,01\text{ V} \times 4,33\text{ A} \\
 &= 21,67\text{ W} = 21,67 \frac{J}{s}
 \end{aligned}$$

Nilai  $P_{HHO}$  merupakan kebutuhan daya listrik yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO senilai  $21,67 \text{ W} = 21,67 \frac{\text{J}}{\text{s}}$ , untuk hasil perhitungan lainnya ditampilkan dalam bentuk tabel di Lampiran 1.

#### 4.2.2. Laju Produksi Gas HHO

Laju produksi gas HHO dihitung dengan persamaan 2.3, sebagai berikut

$$\begin{aligned}\dot{m}_{HHO} &= Q_{HHO} \times \rho_{HHO} \\ &= 5,25 \times 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{menit}} \times 0,491167 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \\ &= 2,58 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{menit}}\end{aligned}$$

$\dot{m}_{HHO}$  dihasilkan dari produksi gas dalam satuan kg (massa) setiap waktu (menit) senilai  $2,58 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{menit}}$ , untuk perhitungan lainnya ditampilkan dalam bentuk tabel di Lampiran 1.

#### 4.2.3. Produksi gas HHO spesifik

Produksi gas HHO spesifik adalah kebutuhan energi untuk menghasilkan setiap produksi berat gas HHO dihitung dengan persamaan 2.5, sebagai berikut

$$\begin{aligned}SGP_{HHO} &= \frac{\dot{m}_{HHO}}{P_{HHO}} \\ &= \frac{2,58 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}}}{21,67 \frac{\text{J}}{\text{s}}} \\ &= 7,13 \times 10^{-2} \frac{\text{gr}}{\text{J}}\end{aligned}$$

$SGP_{HHO}$  dari perhitungan dihasilkan senilai  $7,13 \times 10^{-2} \frac{\text{gr}}{\text{J}}$ , untuk hasil perhitungan lainnya ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1.

#### 4.2.4. Efisiensi Generator Gas HHO

Efisiensi Generator gas HHO dihitung dengan persamaan 2.6, sebagai berikut

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan elektrolisis}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.6$$

Energi yang dibutuhkan dihitung dari nilai *enthalpy* endoterem dan molaritas senyawa tiap waktu, sehingga untuk menghitung molaritas senyawa tiap waktu atau  $\dot{n}$  digunakan persamaan gas ideal dengan menambahkan satuan waktu seperti pada persamaan 2.10, sebagai berikut

$$\dot{n} = \frac{P \dot{V}}{R T} \dots\dots\dots 2.10$$

$$= \frac{1 \text{ atm} \times 5,25 \times 10^{-2} \frac{L}{\text{menit}}}{0,08206 \frac{L \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot K} \times 303,15 \text{ K}}$$

$$= 2,11 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

Sehingga untuk menghitung efisiensi generator gas HHO dipergunakan persamaan 2.11, sebagai berikut

$$\eta_{HHO} = \frac{\text{Energi teoritis yang digunakan elektrolisis}}{\text{Energi aktual yang dibutuhkan generator HHO}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\Delta h \cdot \dot{n}}{(V \cdot I)} \times 100\% \dots\dots\dots 2.11$$

$$= \frac{285,84 \times 10^3 \frac{J}{\text{mol}} \times 2,11 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{menit}} \frac{60s}{\text{menit}}}{21,67 \frac{J}{s}} \times 100\%$$

$$= 46,35 \%$$

Nilai  $\eta_{HHO}$  dihasilkan 46,35 % dari unjuk kerja generator gas HHO. Hasil perhitungan unjuk kerja generator gas HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada Lampiran 1.

### 4.3 Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor

#### 4.3.1. Torsi pengereman (BT)

Nilai torsi pada pengujian unjuk kerja mesin sepeda motor ditampilkan dalam satuan kgf.m oleh alat ukur torsi *dyno water brake*, sehingga dari satuan kgf dikonversi menjadi satuan N.m dengan persamaan berikut,

$$1 \text{ kgf.m} = 9,80665 \text{ N.m}$$

1. Perhitungan torsi mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax

Nilai torsi untuk unjuk kerja mesin sepeda motor dengan bahan pertamax pada rpm 7000 adalah

$$T_{\text{pertamax (rpm 7000)}} = 1,890 \text{ kgf.m} \times 9,80665 = 18,674 \text{ N.m}$$

Hasil perhitungan torsi pengereman (BT) berbahan bakar pertamax secara lengkap ditampilkan dalam tabel pada lampiran 2.

2. Perhitungan torsi mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax dan gas HHO

Nilai torsi unjuk kerja mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax dan gas HHO pada rpm 7000 adalah

$$T_{\text{pertamax\&HHOgas (rpm 7000)}} = 1,950 \text{ kgf.m} \times 9,80665 = 19,267 \text{ N.m}$$

Hasil perhitungan torsi pengereman (BT) berbahan bakar pertamax dan gas HHO secara lengkap ditampilkan dalam tabel pada lampiran 2.

#### 4.3.2. Daya efektif pengereman (BHP)

Daya yang dihasilkan mesin sepeda motor berupa daya poros, pada pengujian dengan *dyno water brake* menggunakan putaran *roller water brake* dengan menggunakan persamaan 2.14, dihasilkan perhitung daya efektif pengereman, sebagai berikut,

$$bhp = \omega.T = 2\pi.n.T \dots\dots\dots 2.14$$

##### 1. Perhitungan daya pengereman mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax

Data yang digunakan untuk menghitung daya pengereman saat menggunakan bahan bakar pertamax standar adalah sebagai berikut :

Putaran mesin 7.000 rpm = putaran *roller water brake* 6.075 rpm = 101,25 rps

Torsi = 18,674 N.m

BHP =  $2.\pi. n T$  (Watt) / 1000 (kW)

$$= 2 . 3,14 \frac{rad}{rev} 6.075 \frac{rev}{menit} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 s} \times 18,674 \text{ Watt} \times \frac{kW}{1000.Watt}$$

$$= 11,8738 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan daya efektif pengereman (BHP) berbahan bakar pertamax secara lengkap ditampilkan dalam tabel pada lampiran 2.

##### 2. Perhitungan daya pengereman mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax

Data yang digunakan untuk menghitung daya pengereman saat menggunakan bahan bakar pertamax standar adalah sebagai berikut :

Putaran mesin 7.000 rpm = putaran *roller water brake* 6.293 rpm = 104,883 rps

Torsi = 19,267 N.m

BHP =  $2.\pi. n T$  (Watt) / 1000 (kW)

$$= 2 . 3,14 \frac{rad}{rev} 6.293 \frac{rev}{menit} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 s} \times 19,267 \text{ Watt} \times \frac{kW}{1000.Watt}$$

$$= 12,69 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan daya efektif pengereman (BHP) berbahan bakar pertamax dan gas HHO secara lengkap ditampilkan dalam tabel pada lampiran 2.

#### 4.3.3. Tekanan Efektif rerata (BMEP)

Proses pembakaran didalam ruang bakar torak silinder terjadi torak mesin antara udara dan bahan bakar dengan pencetus api menghasilkan tekanan dari ledakan bahan bakar yang terbakar. Tekanan tersebut berkerja pada torak sehingga menghasilkan langkah kerja torak hingga memutar roda sepeda motor. Jika menggunakan tekanan konstan pada proses pembakaran di ruang bakar dan menghasilkan kerja yang sama, sehingga disebut dengan tekanan efektif rerata (BMEP).

Tekanan efektif rerata (*brake mean effective pressure*) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15, sebagai berikut

$$Bmep = \frac{a \cdot bhp}{\frac{1}{4}D^2 \cdot L \cdot n} \dots\dots\dots 2.15$$

Nilai a untuk mesin motor 4 langkah adalah 2.

1. Perhitungan tekanan efektif rerata (BMEP) mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax

Data yang digunakan untuk menghitung daya pengereman saat menggunakan bahan bakar pertamax standar adalah sebagai berikut :

- Putaran mesin (n) = 7000 rpm = 116,67 rps
- Daya = 11,874 kW = 11.874 Watt
- Diameter piston (D) = 57,3 mm = 0,0573 m
- Panjang langkah piston (L) = 57,9 mm = 0,0579 m
- Volume langkah =  $1,49 \times 10^{-4} m^3 = 1,49 \times 10^{-1} L$
- Jumlah silinder = 1

Sehingga tekanan efektif rerata (BMEP) dihitung sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 Bmep &= \frac{a \cdot bhp}{\frac{1}{4}D^2 \cdot L \cdot n} \\
 &= \frac{a \cdot bhp}{Vol \cdot n} \\
 &= \frac{2 \times 11,874 \text{ kW}}{1,49 \times 10^{-4} m^3 \times 116,67 \text{ rps}} \\
 &= 1366,404 \frac{kW.s}{m^3} & (*1 \text{ watt} = 1 \text{ N.m / s}) \\
 &= 1366,404 \text{ kPa} & (*1 \text{ N/m}^2 = 0,001 \text{ kPa})
 \end{aligned}$$



Hasil perhitungan tekanan efektif rerata (BMEP) berbahan bakar pertamax secara lengkap ditampilkan dalam tabel bentuk pada lampiran 2.

2. Perhitungan tekanan efektif rerata (BMEP) mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax dan gas HHO

Data yang digunakan untuk menghitung daya pengereman saat menggunakan bahan bakar pertamax dan gas HHO adalah sebagai berikut :

- Putaran mesin (n) = 7000 rpm = 116,67 rps
- Daya = 12,69 kW = 12.690 Watt
- Diameter piston (D) = 57,3 mm = 0,0573 m
- Panjang langkah piston (L) = 57,9 mm = 0,0579 m
- Volume langkah =  $1,49 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 1,49 \times 10^{-1} \text{ L}$
- Jumlah silinder = 1

Sehingga tekanan efektif rerata (BMEP) dihitung sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 Bmep &= \frac{a \cdot bhp}{1/4 D^2 \cdot L \cdot n} \\
 &= \frac{a \cdot bhp}{Vol \cdot n} \\
 &= \frac{2 \times 12,69 \text{ kW}}{1,49 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 116,67 \text{ s}} \\
 &= 1460,372 \frac{\text{kW} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} & (*1 \text{ watt} = 1 \text{ N.m} / \text{s}) \\
 &= 1460,372 \text{ kPa} & (*1 \text{ N.m/m}^2 = 0,001 \text{ kPa})
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tekanan efektif rerata (BMEP) berbahan bakar pertamax dan gas HHO secara lengkap ditampilkan dalam tabel bentuk pada lampiran 2.

4.3.4. Konsumsi bahan bakar spesifik ( $S_{fc}$ )

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik menampilkan energi yang dihasilkan dari bahan bakar dan energi yang dikonsumsi mesin sepeda motor saat terjadi proses kerja pada pembakaran bahan bakar di ruang bakar.

1. perhitungan nilai sfc pada pemakaian bahan bakar pertamax standar pada mesin sepeda motor dicontohkan sebagai berikut,

- Putaran mesin : 7000 rpm
- Daya pengereman (BHP) : 11,874 kW
- Waktu konsumsi bahan bakar (25 ml) : 22,410 s
- Density bahan bakar : 0,751 kg/L

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dihitung dengan persamaan 2.17, sebagai berikut,

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{bhp} \dots\dots\dots 2.17$$

Perhitungan sfc membutuhkan nilai  $\dot{m}_f$  laju aliran bahan bakar yang digunakan dengan menggunakan persamaan 2.18,

$$\dot{m}_f = \rho_{\text{bahan bakar}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}} \dots\dots\dots 2.18$$

Sehingga dari persamaan 2.17 dan 2.18 dihasilkan persamaan untuk menghitung sfc sebagai berikut,

$$\begin{aligned} sfc &= \frac{\rho_{\text{bahan bakar}_{\text{pertamax}}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}_{\text{pertamax}}}}{bhp} \\ &= \frac{0,751 \frac{kg}{L} \times 0,025 L \times 3600 s}{22,410 s \times 11,874 kW \times 1 Jam} \\ &= 0,256 \frac{kg}{kW \cdot jam} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) pertamax-standar secara lengkap terlihat dalam bentuk tabel pada lampiran 2.

2. perhitungan nilai sfc pada pemakaian bahan bakar pertamax dan gas HHO pada mesin sepeda motor dicontohkan sebagai berikut,

- Putaran mesin : 7000 rpm
- Daya pengereman (BHP) : 12,69 kW
- Waktu konsumsi bahan bakar (25 ml) : 24,780 s
- *Density* bahan bakar pertamax : 0,751 kg/L
- *Density* bahan bakar gas HHO : 0,00049 kg/L

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dihitung dengan persamaan 2.17, sebagai berikut,

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{bhp} \dots\dots\dots 2.17$$

Perhitungan sfc membutuhkan nilai  $\dot{m}_f$  laju aliran bahan bakar yang digunakan dengan menggunakan persamaan 2.18,

$$\dot{m}_f = \rho_{\text{bahan bakar}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}} \dots\dots\dots 2.18$$

Sehingga dari persamaan 2.17 dan 2.18 dihasilkan persamaan untuk menghitung *sfc* sebagai berikut,

$$\begin{aligned} sfc &= \frac{\rho_{\text{bahan bakar}_{\text{pertamax+gas HHO}}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}_{\text{pertamax+gas HHO}}}}{bhp} \\ &= \frac{0,75149 \frac{kg}{L} \times 0,025 L \times 3600 s}{24,780 s \times 12,96 kW \times 1 Jam} \\ &= 0,217 \frac{kg}{kW \cdot jam} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) pertamax dan gas HHO secara lengkap terlihat dalam bentuk tabel pada lampiran 2.

#### 4.2.1. Efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ )

Nilai Efisiensi thermal adalah hubungan antara daya yang dihasilkan mesin dengan daya yang dihasilkan dari pelepasan energi yang tersimpan didalam bahan bakar tersebut saat terjadi proses pembakaran.

1. perhitungan efisiensi thermal pada pemakaian bahan bakar pertamax standar pada mesin sepeda motor dicontohkan sebagai berikut,

- Putaran mesin : 7000 rpm
- Sfc : 0,256 kg/kW.jam
- Heating value pertamax : 45950 kJ/kg

Dengan menggunakan persamaan 2.23 sebagai berikut,

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} \dots\dots\dots 2.23$$

Karena,

$$sfc = \frac{\dot{m}_f \left( \frac{kg}{detik} \right)}{bhp}, \text{ sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut}$$

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{3600}{sfc \times Q_{HV}}, \\ &= \frac{3600 \text{ detik}}{0,256 \frac{kg}{kW \cdot jam} \times 45950 \frac{kJ}{kg}} \\ &= 30,56 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan efisiensi thermal pertamax standar secara lengkap terlihat dalam bentuk tabel pada lampiran 2.

2. perhitungan efisiensi thermal pada pemakaian bahan bakar pertamax dan gas HHO pada mesin sepeda motor dicontohkan sebagai berikut,

- Putaran mesin : 7000 rpm
- Sfc : 0,217 kg/kW.jam
- Heating value pertamax : 45950 kJ/kg

Dengan menggunakan persamaan 2.23 sebagai berikut,

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{sfc \times} \dots\dots\dots 2.23$$

Karena,

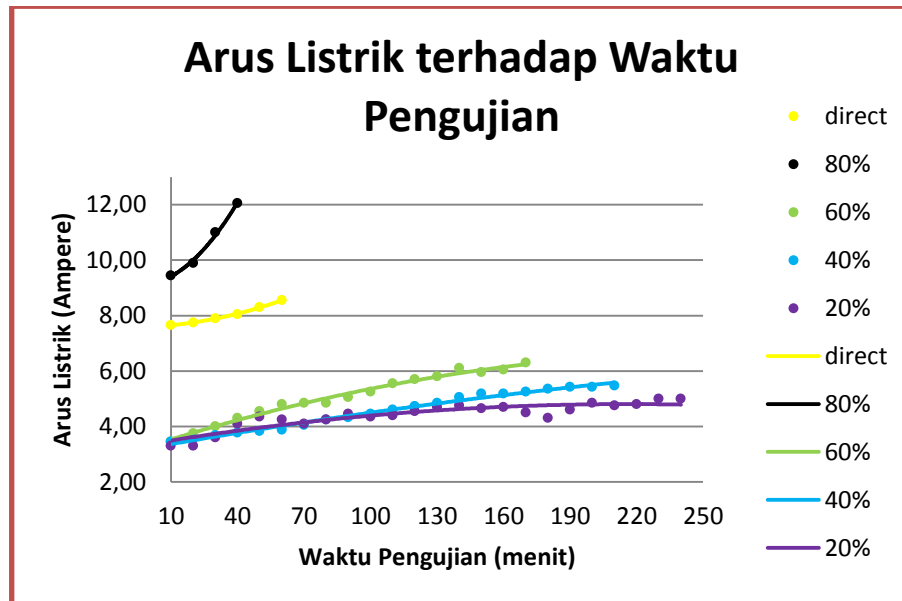
$$sfc = \frac{\dot{m}_f \left( \frac{kg}{detik} \right)}{bhp}, \text{ sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut}$$

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{3600}{sfc \times Q_{HV}}, \\ &= \frac{3600 \text{ detik}}{0,217 \frac{kg}{kW.jam} \times 45950 \frac{kJ}{kg}} \\ &= 36,12 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan efisiensi thermal pertamax dan gas HHO ditampilkan dalam bentuk tabel pada lampiran 2.

## 4.4 Analisa Unjuk Kerja Generator Gas HHO

### 4.4.1 Arus listrik generator gas HHO

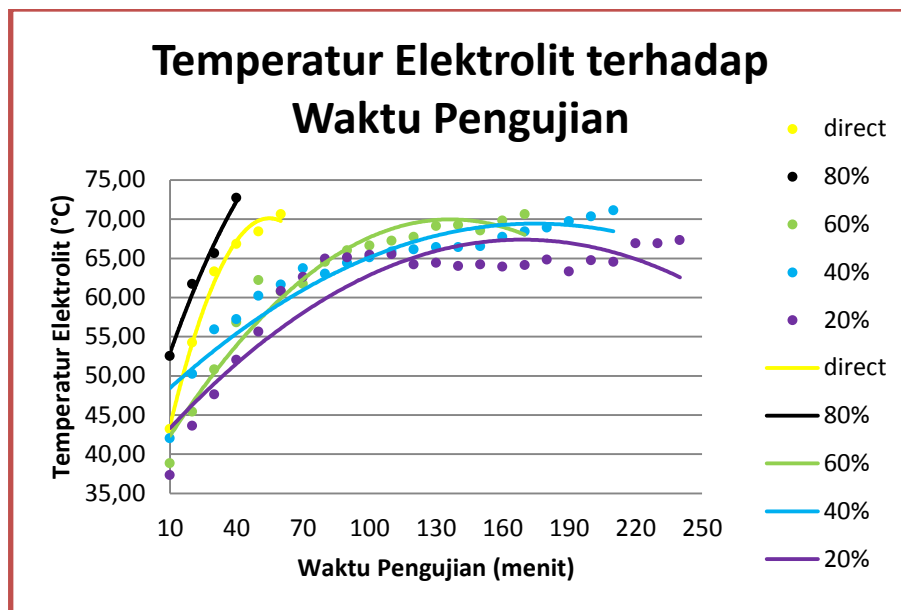


Gambar 4.1 Arus listrik terhadap waktu pengujian

Proses elektrolisa pada generator gas HHO membutuhkan 3 komponen untuk segala macam tipe generator, seperti pada penelitian ini menggunakan generator tipe kering atau *dry cell*. Beberapa komponen yaitu, elektroda, elektrolit dan energi proses elektrolisa dalam bentuk listrik. Energi dalam bentuk listrik yang dibutuhkan untuk proses elektrolisa berupa listrik searah (DC). Pada listrik searah terdapat tegangan atau beda potensial dan arus listrik. Arus listrik mengalir pada suatu rangkaian jika pada rangkaian tersebut memiliki perbedaan potensial antara potensial dari sumber listrik dan potensial di rangkaian yang terbebani. Beda potensial dikarenakan ada perbedaan jumlah elektron pada tiap rangkaian. Pada rangkaian generator gas HHO sumber arus dihasilkan dari baterai/aki dan charger aki. Kelistrikan pada rangkaian generator beroperasi saat terjadi perbedaan potensial antara sumber listrik dan generator gas HHO. Tegangan mengakibatkan arus listrik mengalir. Pada generator bernilai potensial yang lebih rendah daripada sumber listrik. Konsep energi berupa listrik mengalir dalam rangkaian elektro ada 2, pertama energi listrik mengalir secara konvensional ditinjau dari perbedaan potensial, potensial sumber listrik pada kutub positif lebih tinggi dibandingkan

potensial kutub negatif sumber listrik sehingga aliran listrik mengalir dari kutub positif sumber listrik/aki melalui generator gas HHO. Konsep berikutnya energi listrik mengalir dari jumlah elektron yang lebih tinggi ke jumlah elektron yang lebih rendah, konsep tersebut ditinjau pada kutub negatif, karena di kutub negatif memiliki elektron yang lebih besar dibandingkan pada kutub positif sehingga listrik mengalir melalui rangkaian listrik generator gas HHO menuju kutub positif sumber listrik/aki. Jumlah listrik yang mengalir pada suatu rangkaian diketahui sebagai arus listrik dengan satuan ampere. Kebutuhan ampere pada suatu beban menyesuaikan dengan hambatan pada rangkaian terbebani (generator gas HHO). Pada rangkaian generator gas HHO hambatan berupa elektrolit dan elektroda. Elektrolit memiliki nilai konduktifitas memasing, semakin tinggi nilai konduktifitas elektrolit semakin kecil kebutuhan listrik dikarenakan hambatan dan konduktifitas listrik berbanding terbalik. Pada elektroda generator gas HHO ada katoda dan anoda. Katoda disebut kutub negatif dan anoda disebut kutub positif pada generator gas HHO. Material elektroda memiliki hambatan jenis, hal tersebut yang mengidikasikan suatu hambatan pada elektroda. Semakin tinggi hambatan jenis dengan luasan tertentu maka semakin besar hambatan jenis suatu material dengan diimbangi dengan tingginya nilai arus listrik pada suatu rangkaian. Pada generator gas HHO yang dilakukan pengujian dengan arus listrik tertinggi divariasi *direct connection*/rangkaian tanpa PWM (*pulse width modulation*), konsumsi arus tertinggi pada variasi tersebut dikarenakan pada rangkaian PWM berfungsi sebagai pembatas arus karena karakter dari PWM tersebut, sehingga dengan variasi tanpa PWM dihasilkan nilai arus yang tertinggi dibanding dengan arus dengan variasi penambahan PWM. Pada penambahan PWM variasi dengan konsumsi arus tertinggi hingga terendah berturut-turut terjadi pada variasi *duty cycle* 80%, 60%, 40%, dan 20%. Konsumsi arus rerata terendah pada variasi 20% dengan arus rerata senilai 4,40 A dan konsumsi arus rerata tertinggi pada variasi 80% 10,60 A. Pada penelitian terdahulu (Ghiffari,2013) terlihat gambar 2.5 terjadi perbedaan yang signifikan dengan arus listrik yang terukur, pada penelitian terdahulu kenaikan arus mencapai diatas 20A dan pada penelitian ini arus tidak lebih dari 12 A untuk keseluruhan variasi, sehingga penggunaan titanium sebagai elektroda (katoda) lebih baik jika ditinjau dari kenaikan arus listrik yang terukur.

#### 4.4.2 Temperatur elektrolit generator gas HHO



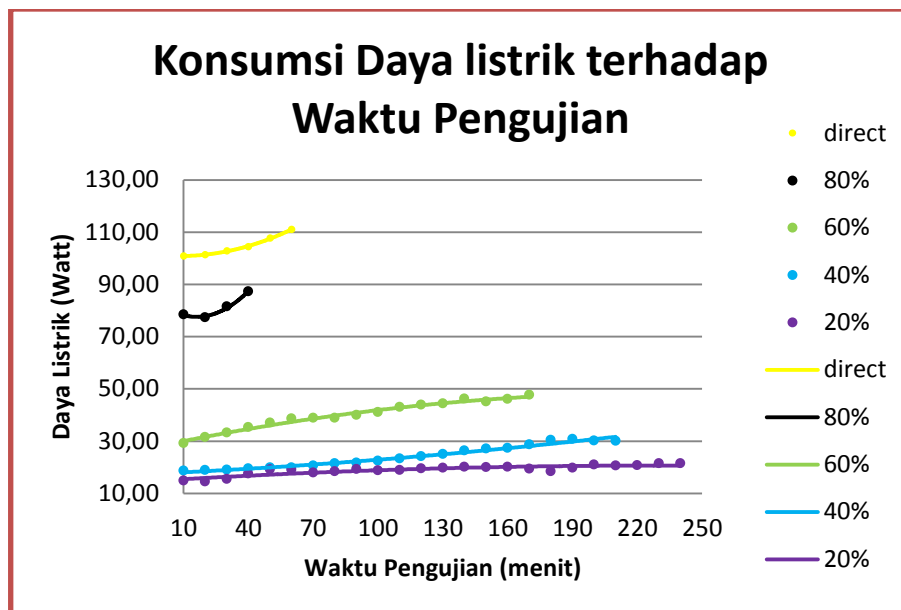
Gambar 4.2 Temperatur elektrolit terhadap waktu pengujian

Temperatur yang diukur pada generator gas HHO adalah temperatur elektrolit. Pertimbangan pemilihan letak pengukuran temperatur elektrolit berdasarkan reaksi elektrolisa yang terjadi pada generator atau reaksi endoterm (membutuhkan energi dari lingkungan untuk bereaksi) terjadi pada elektrolit sehingga elektrolit digunakan sebagai parameter pengukuran nilai temperatur generator gas HHO saat proses unjuk kerja, selain itu komponen elektrolit terdiri dari aquades dan katalisator yang mengalami pengupaan saat temperatur sekitar  $\geq 98^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk mengantisipasi elektrolit mengalami penguapan parameter pengukuran temperatur dilakukan di elektrolit. Semua variasi pengujian unjuk kerja generator gas HHO terbatas pada temperatur  $\approx 70^{\circ}\text{C}$ , terkecuali pada *duty cycle* 20%. Pengecualian pada *duty cycle* 20% dengan mempertimbangkan kemampuan alat ukur dan PWM saat pengoperasian 240 menit, sehingga dihentikan pengukuran pada waktu 240 menit, temperatur yang tercatat pada waktu 240 menit pengujian senilai  $67,10^{\circ}\text{C}$  dan konstan pada menit ke 90 hingga 220 dengan temperatur sekitar  $65^{\circ}\text{C}$ . Fenomena pada variasi PWM *duty cycle* 60%, 40%, dan 20% mengalami kenaikan mulai temperatur ruangan yang signifikan meningkat hingga menit ke 110, berkelanjutan kenaikan temperatur yang relatif lambat pada menit

berikutnya. Pengujian generator gas HHO dengan waktu tersingkat pada 80% dan berturut-turut dari variasi *duty cycle* tetinggi *direct connection* hingga 20%. Penambahan katalisator pada elektrolit difungsikan untuk mempercepat reaksi elektrolisis. Kandungan anion kation pada katalisator membantu gerak elektron semakin cepat saat terjadi proses elektrolisa dengan berbanding lurus dengan kebutuhan listrik. Gerak elektron secara mekanik membutuhkan energi dari luar berupa energi listrik. Gerakan elektron yang menumbuk elektron lain secara vibrasi menghasilkan gesekan yang menimbulkan panas. Panas yang terjadi pada proses elektrolisa merambat ke elektrolit menimbulkan kenaikan temperatur. Penelitian terdahulu (Ghiffari,2013) pada gambar 2.6 terlihat perbedaan yang signifikan dengan data hasil eksperimen ini, seperti pada waktu pengujian pada *duty cycle* 20% terjadi perbedaan 2 kali lipat dibanding penelitian terdahulu dengan waktu pengujian 120 menit. Perihal tersebut dikarenakan penggunaan titanium yang memiliki nilai hambatan listrik yang lebih rendah pada elektroda yang relatif memperlambat kenaikan temperatur pada elektrolit. Kenaikan temperatur elektrolit yang dimaksudkan tidak terjadi kenaikan yang signifikan seperti penelitian terdahulu, sehingga disimpulkan bahwa dengan penggunaan elektroda titanium lebih baik untuk menjaga kenaikan temperatur elektrolit lebih membutuhkan waktu yang lebih lama dan hal tersebut menjauhkan dari hasil uap air pada kondisi kenaikan temperatur yang signifikan.



#### 4.4.3 Konsumsi daya listrik generator gas HHO

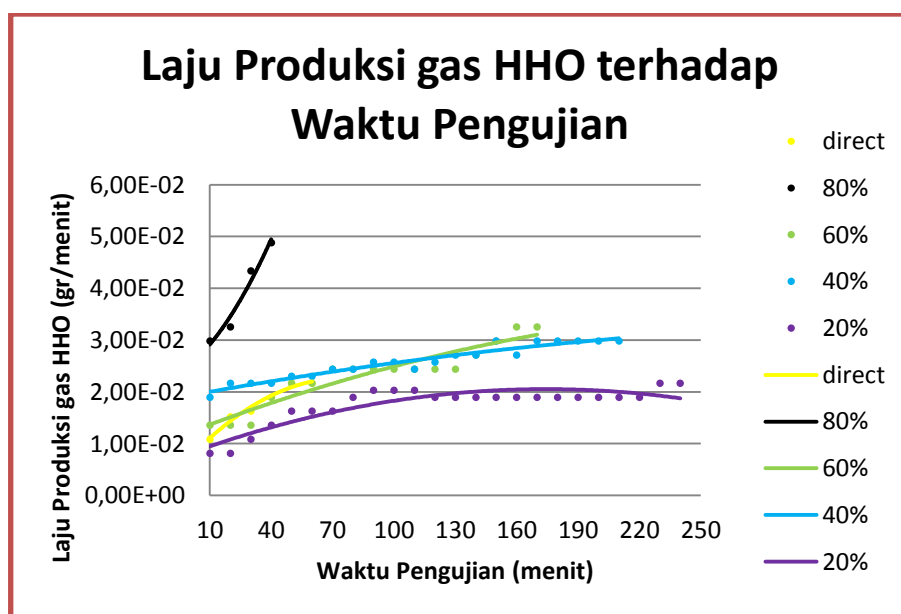


Gambar 4.3 Konsumsi daya listrik terhadap waktu pengujian

Kebutuhan energi generator menghasilkan gas HHO pada proses elektrolisa dalam daya listrik. Nilai daya listrik hasil dari perhitungan tegangan listrik dan arus listrik yang diukur digenerator gas HHO. Tegangan listrik yang terukur pada generator gas HHO relatif konstan pada keseluruhan rangkaian dikarenakan sumber listrik yang digunakan relatif konstan berkisar 13,00 VDC. Penambahan PWM dengan berbagai variasi *duty cycle* menghasilkan tegangan rerata sesuai dengan prosentase. Tegangan rerata berbeda dengan tegangan “*real*” pada suatu rangkaian. PWM selain berfungsi sebagai penyuplai tegangan rerata, juga relatif berfungsi sebagai penjaga tegangan rerata konstan. Daya listrik yang dibutuhkan atau yang dikonsumsi saat proses elektrolisa, paling tinggi terukur pada variasi *direct connection* dimenit ke- 60, seterusnya berurutan hingga daya terendah dari variasi 80% hingga 20%. Nilai daya tertinggi pada *direct connection* dihasilkan karena pada proses elektrolisa merupakan rangkaian yang menyerap berapa pun energi listrik yang mengalir tanpa batasan, terkecuali saat tidak terjadi koneksi antara *cell*. daya yang tinggi terus meningkat hingga tidak ada perbedaan tegangan sehingga tidak ada arus listrik yang mengalir pada rangkaian kelistrikan generato gas HHO. Pada variasi ber*duty cycle* atau dengan penggunaan PWM arus relatif

tidak terjadi lonjakan yang tinggi karena PWM berfungsi sebagai *switching* sehingga arus listrik tidak konstan secara *full-realtime* 1 periode siklus. Data penelitian *direct connection* membutuhkan daya rerata tertinggi 104,72 watt, *duty cycle* 80% membutuhkan daya rerata tertinggi 81,11 watt, seterusnya *duty cycle* 60%, 40% & 20% berturut 39,99 watt, 24,05 watt dan 18,97 watt. Perbedaan terlihat pada penelitian terdahulu (Ghiffari,2013) terlihat pada gambar 2.7 bahwa daya listrik yang dibutuhkan pada penelitian tersebut hampir mencapai 100 watt dengan variasi *duty cycle* 20%, dan dibandingkan dengan penelitian ini pada variasi yang sama, daya yang dibutuhkan dibawah 30 watt. Dan jika ditinjau dari konsumsi daya maka penelitian ini mengalami penghematan pada konsumsi daya yang lebih baik dengan penggunaan elektroda (katoda) titanium pada generator gas HHO dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan elektroda SS 316.

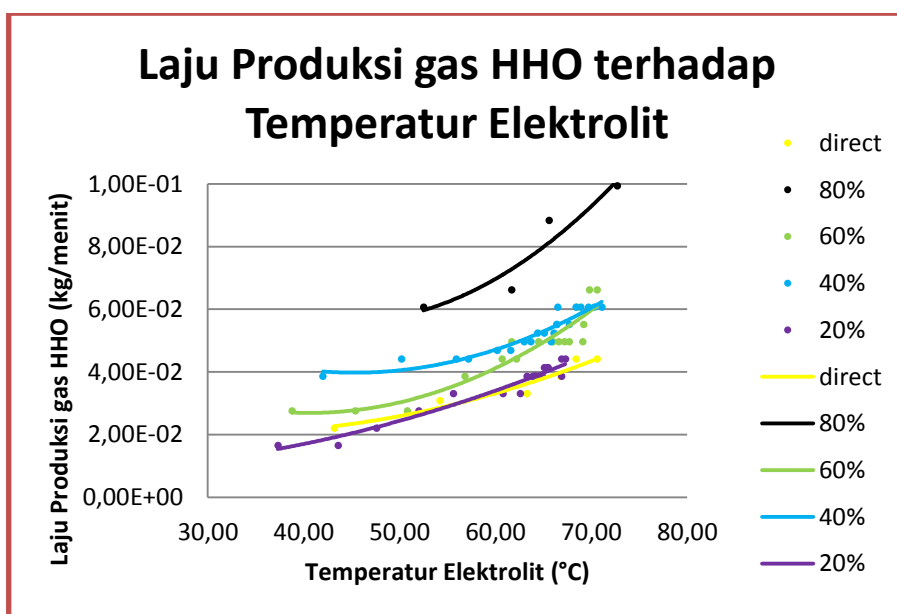
#### 4.4.4 Laju produksi gas HHO



Gambar 4.4 Laju produksi gas HHO terhadap waktu pengujian

Produksi gas HHO dari pemecahan molekul air  $H_2O$  menjadi gas hidrogen dan gas oksigen. Pada proses terbentuknya gas HHO dikondisikan dibawah titik didih air ( $H_2O$ ) karena saat temperatur elektrolit diatas temperatur titik didih air, maka

energi yang terserap pada elektrolit mengakibatkan regangan ikatan molekul air sehingga densitas air akan menurun, hal tersebut mengakibatkan air yang seharusnya dipecah molekul menjadi gas hidrogen dan gas oksigen, berubah menjadi uap air. Uap air yang dihasilkan menjauhi titik berat gravitasi sehingga posisi air mendekati titik gravitasi atau dibawah uap air, sesuai dengan hukum *archimedes* dan keluar dari generator gas HHO. Pada kondisi yang normal proses elektrolisa memproduksi gas HHO. Pengujian pada variasi 80% menghasilkan produksi rerata tertinggi senilai  $3,86 \times 10^{-2}$  gr/menit. Produksi gas HHO rerata terendah terjadi pada variasi *direct connection* senilai  $1,74 \times 10^{-2}$  gr/menit.

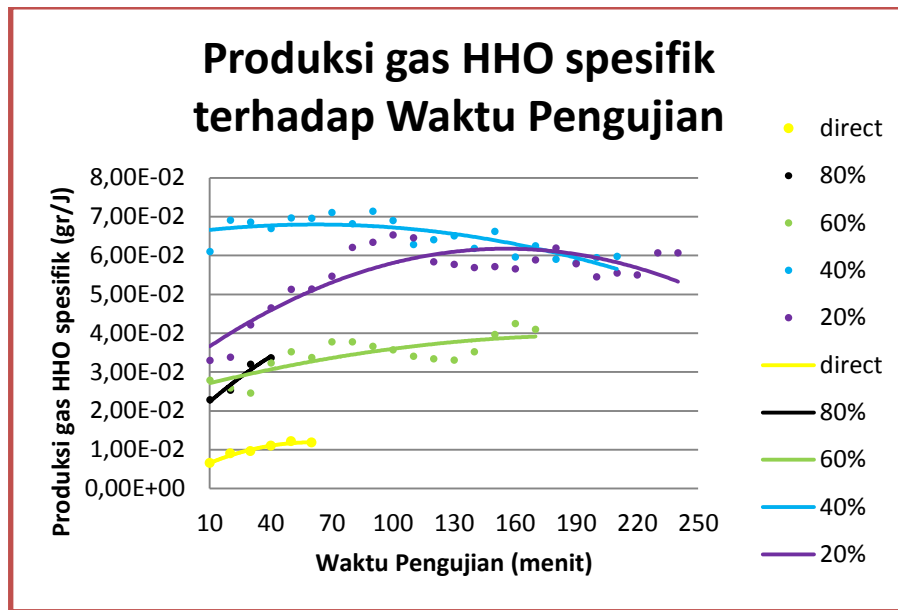


Gambar 4.5 Laju produksi gas HHO terhadap temperatur elektrolit

*Duty cycle* 80% pada temperatur 72,70°C menghasilkan laju produksi gas HHO  $4,88 \times 10^{-2}$  gr/menit. Terlihat fenomena laju produksi yang relatif konstan pada temperatur sekitar 65°C. Produksi gas HHO terendah terjadi pada *duty cycle* 20% pada 43,6°C senilai  $1,08 \times 10^{-2}$  gr/menit. Jika tidak memberi batasan waktu *trend line* temperatur meningkat pada semua variasi pengujian unjuk kerja generator gas HHO, fenomena tersebut diakibatkan kenaikan listrik atau konsumsi daya yang meningkat, sehingga meningkatkan produksi gas dan kenaikan temperatur

elektrolit, selain dari faktor endoterm kenaikan juga diakibatkan dari proses perambatan listrik pada luasan penampang tertentu sehingga mengakibatkan perubahan temperatur dari penampang ke sekitar (elektrolit).

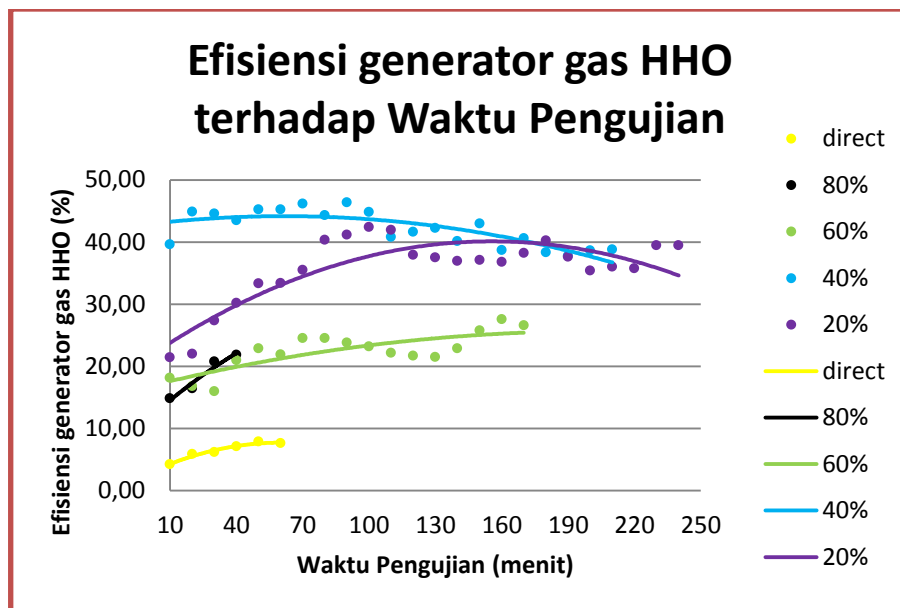
#### 4.4.5 Produksi gas HHO spesifik



Gambar 4.6 Produksi gas HHO spesifik terhadap waktu pengujian

Kebutuhan energi untuk memproduksi gas HHO pada proses elektrolisa di generator gas HHO setiap joulenya terlihat pada grafik produksi gas HHO spesifik. Variasi *duty cycle* 40% menghasilkan fenomena penurunan produksi gas HHO hingga menit ke 215 dengan nilai  $4,83 \times 10^{-2}$  gr/J dan menghasilkan produksi gas spesifik tertinggi pada menit ke  $7,79 \times 10^{-2}$  gr/J menit ke 90. Variasi 60% menghasilkan produksi gas spesifik yang relatif konstan antara  $3,00 \times 10^{-2}$  hingga  $4,00 \times 10^{-2}$  pada rentang menit ke 60 – 160 menit. Produksi gas spesifik penelitian terdahulu (Ghiffari, 2013) terlihat pada gambar 2.10 pada keseluruhan variasi dihasilkan antara  $12 \times 10^{-9}$  hingga  $6 \times 10^{-9}$  kg/J dibandingkan dengan penelitian ini yang menghasilkan antara  $8 \times 10^{-5}$  hingga  $1,9 \times 10^{-5}$  kg/J, maka kebutuhan energi untuk menghasilkan gas HHO lebih tinggi dengan penggunaan elektroda SS 316 dibandingkan dengan penggunaan elektroda (katoda) titanium.

#### 4.4.6 Efisiensi generator gas HHO



Gambar 4.7 Efisiensi generator gas HHO terhadap waktu pengujian

Generator gas HHO menghasilkan nilai efisiensi, nilai efisiensi dihitung dari perbandingan energi yang dibutuhkan generator untuk memproduksi gas dalam proses elektrolisa dengan energi yang dibutuhkan generator gas HHO secara aktual sesuai nilai yang terukur. Efisiensi tertinggi dihasilkan dengan energi yang masuk ke generator sama dengan energi yang keluar dalam generator. Energi yang masuk berupa nilai energi yang dibutuhkan untuk proses elektrolisa. Proses elektrolisa merupakan proses kimia antara reaksi reduksi dan reaksi oksidasi (redoks) yang prosesnya dengan cara memecah molekul di elektrolit. Terpecahnya molekul air membutuhkan kalor. Kalor atau enthalpi nilai nya konstan tidak berubah selama tidak ada kalor yang keluar dari sistem atau masuk ke sistem. Proses elektrolisa dalam hal ini adalah sebuah sistem, membutuhkan kalor dari luar sistem. Kebutuhan kalor tersebut merupakan reaksi endoterm. Terlihat pada gambar 4.7 keseluruhan variasi menghasilkan *trend line* kenaikan dan penurunan efisiensi. Variasi *duty cycle* 20%, 60%, 80% dan *direct connection* menghasilkan kurva yang landai berbeda dengan variasi *duty cycle* 40%. *Duty cycle* 40% cenderung menurun efisiensinya atau lebih landai. Efisiensi terendah dihasilkan dari *direct connection* senilai 6,46%, hal tersebut diindikasikan karena energi yang

masuk ke generator yang secara teori menjadi energi untuk memecah molekul air, sebagian besar terbuang menjadi panas karena tegangan yang berlebih. Nilai efisiensi tertinggi dihasilkan dari variasi *duty cycle* 40% senilai 42,15%. Grafik efisiensi (terlihat pada gambar 4.7) dan grafik produksi gas terhadap waktu pengujian (terlihat pada gambar 4.6) memiliki *trend line* yang sama. Hal tersebut dikarenakan dalam perhitungan efisiensi dan laju produksi gas spesifik menggunakan parameter yang sama pada nilai perubahan rerata pada tegangan dan arus untuk grafik laju produksi gas spek dan berlaku pada grafik efisiensi. Pada grafik efisiensi terlihat pada waktu pengujian dengan variasi 20%, 40%, 60% menghasilkan kesamaan *trend line* ada fluktuatif hasil efisiensi menyerupai grafik sinusoidal yang disuatu waktu terjadi kenaikan dan disuatu waktu terjadi penurunan nilai. Fenomena tersebut disimpulkan *trend line* generator dengan penggunaan 2 material elektroda yang berbeda, tidak sama dengan *trend line* karakteristik unjuk kerja generator gas HHO dengan elektroda yang sama pada umumnya, seperti pada tinjauan pustaka (terlihat pada Ghiffari A. Yanuar, 2013). Berikutnya penelitian ini digunakan sebagai data primer untuk penelitian pembandingan lainnya.

Pada rangkaian generator gas HHO dilakukan penambahan alat berupa *feedbackrest* atau *water arrestor* dengan penggunaan *silica gel* untuk komponen primer. *Silica gel* berfungsi menyerap uap air dari fluida yang melaluinya, sehingga diaplikasikan pada alat tersebut. Penambahan alat tersebut menghasilkan manfaat pada kandungan uap air yang terserap, terlihat pada lampiran 13. Perubahan warna pada *silica gel* dari warna biru menuju warna lebih merah, mengindikasikan adanya uap air yang terserap. Dan disimpulkan gas yang keluar dari generator gas HHO berupa murni gas HHO tanpa uap air.

Penambahan alat PWM pada rangkaian kelistrikan mengakibatkan tegangan dan arus yang dihasilkan berupa nilai rerata. Variasi yang digunakan terlihat pada Lampiran 15, berturut-turut 20%, 40%, 60% dan 80%. Kemampuan PWM dalam rentang arus berkisar 25 A, dengan penggunaan ampere berlebih mengalami peringatan dini berkisar 30A keatas dengan bunyi *buzzer*, tetapi PWM akan terus beroperasi normal. PWM diperkirakan *non fuctional* atau mengalami kerusakan pada penggunaan arus diatas 75A, adapun pengaman PWM berupa

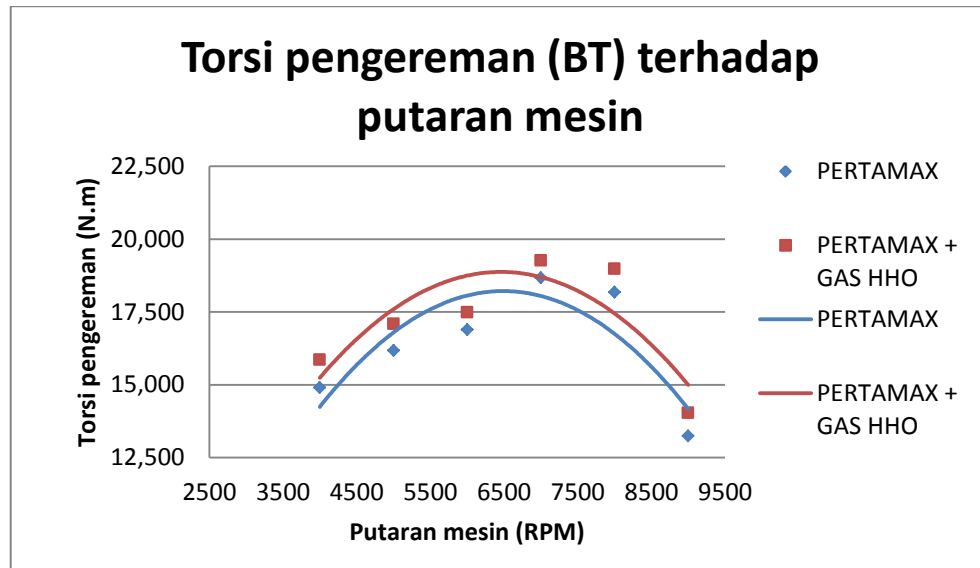
sikring atau *fuse*. Dari penelitian ini disarankan untuk peneliti selanjutnya menggunakan arus dibawah 75A dan arus yang relatif konstan karena terbatasnya kemampuan PWM tersebut.

Elektrolit dengan komposisi 10 gr dab 5 gr setiap 1 liter H<sub>2</sub>O telah dilakukan pengujian, sebelum pengujian dengan komposisi elektrolit 1 gr/ 1 liter H<sub>2</sub>O. Kenaikan produksi gas terjadi 4 kali lipat disertai kenaikan arus listrik, hingga terjadi abnormal pada rangkaian yang *disetting* dengan kemampuan arus lebih rendah sehingga terjadi kerusakan pada saklar dan kenaikan temperatur pada kabel kelistrikan. Penggunaan elektrolit dengan komposisi katalis 1gr dilakukan berurut-turut pada semua variasi. Terlihat pada lampiran 11, pH atau kadar basa pada elektrolit meningkat dibandingkan dengan kadar pH setelah pengujian. Hal tersebut diindikasikan terjadi penambahan ikat OH<sup>-</sup> sehingga larutan elektrolit lebih basa karena terjadi penambahan tersebut. Penambahan OH<sup>-</sup> diprediksikan karena adanya ikatan H<sub>2</sub>O yang terpisah menjadi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>.

Kondisi nilai efisiensi penelitian terdahulu oleh Ghiffari yang terlihat pada gambar 2.11, efisiensi tertinggi pada variasi *duty cycle* 80% senilai 28% dan terendah pada variasi *duty cycle* 20% senilai sekitar 17%, berbeda dengan penelitian ini nilai efisiensi tertinggi pada variasi *duty cycle* 40% senilai 42,15% dan terendah pada variasi *direct connection* senilai 4,46%. Nilai efisiensi secara umum tertinggi terjadi pada penggunaan elektroda titanium, efisiensi tertinggi menindikasikan energi yang dibutuhkan untuk proses produksi gas HHO lebih tinggi.

## 4.5 Analisa Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor

### 4.5.1 Torsi pengereman (*Brake Torque*)



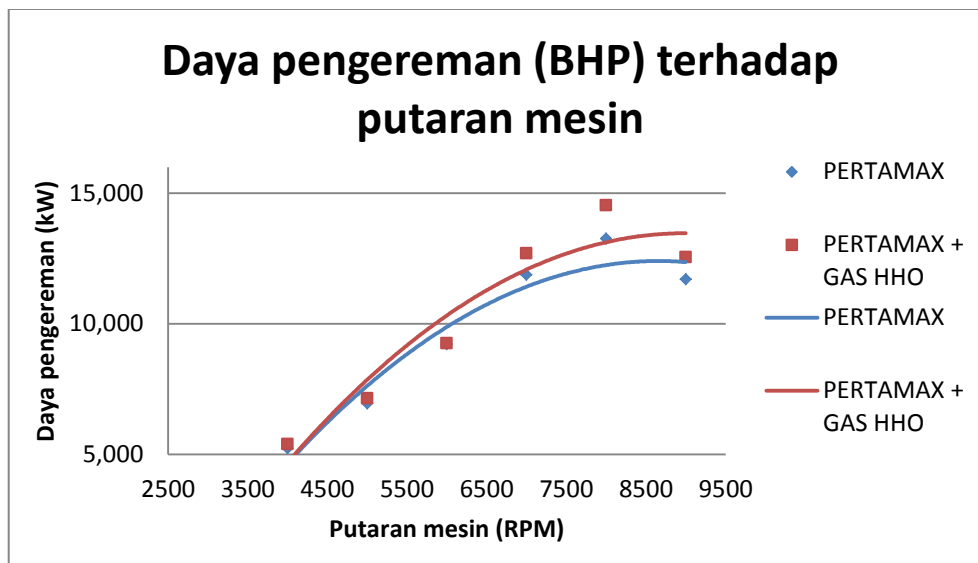
Gambar 4.8 Torsi pengereman (BT) terhadap putaran mesin

Mesin pembakaran dalam menghasilkan energi mekanik berupa kerja dan *losses* berupa kalor dalam bentuk panas yang terbuang ke lingkungan. Energi mekanika yang dihasilkan oleh gerak piston tertekan karena adanya energi terkonversi menjadi tekanan. Gerakan tersebut dirambatkan ke *crank shaft* atau poros engkol hingga merambat ke roda sepeda motor. Kemampuan mesin dalam menghasilkan energi kinetik ditampilkan dalam bentuk nilai torsi. Pada mesin bensin/sinjai menghasilkan putaran mesin yang tinggi dan torsi yang lebih rendah. Hal tersebut dipengaruhi perbedaan siklus otto dan bahan bakar bensin, jika dibandingkan dengan mesin diesel yang memiliki putaran rendah dan torsi tinggi. Putaran yang rendah cenderung mengurangi nilai *friction* antara komponen mesin dibanding putaran tinggi. Torsi pada mesin bensin relatif lebih rendah tetapi dengan putaran mesin tinggi dan berakselerasi lebih cepat. Pengujian torsi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *dynometer type water brake*, tipe tersebut menggunakan sistem atau prinsip penyerapan energi yang dihasilkan dengan media air yang bertekanan pada *couple brake*, dengan diketahui gaya yang bekerja pada poros dan panjang lengan dihasilkan nilai torsi dalam satuan kgf.m. perubahan torsi ditiap variasi rpm menghasilkan nilai yang berbeda. Torsi terendah terjadi pada



rpm tertinggi senilai 9000 rpm. Putaran mesin tinggi membutuhkan energi yang tinggi dan menghasilkan gaya yang tinggi. Pada fenomena penelitian ini pada rpm 9000, tidak terjadi fenomena yang normal ditinjau secara teori diatas. Kemungkinan atau prediksi yang terjadi pada rpm tinggi kebutuhan energi yang tinggi tidak diimbangi dengan proses pembakaran yang merubah energi didalam bahan bakar menjadi energi termal yang menggerakkan piston. Ketidak efektifan hal tersebut diprediksi karena udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar tidak sempurna terbakar, sehingga tidak semua energi terkonversi. Putaran paling efektif dengan diindikasikan kenaikan torsi tertinggi terjadi pada putaran mesin 7000 rpm. Penggunaan bahan bakar pertama dengan nilai oktn 92 tidak terlalu efektif dengan mempertimbangkan nilai *ratio compression* dari mesin sepeda motor uji. Adanya penambahan bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi berupa gas HHO, menghasilkan kenaikan nilai torsi pada setiap variasi putaran mesin uji. Korelasi antara nilai oktan dan *ratio compression* terlihat pada BAB 2, untuk penggunaan pada mesin uji tipe CB 150 R. Torsi pada mesin sepeda motor yang diuji menghasilkan nilai tertinggi 18,674 N.m pada putaran mesin 7000 dengan bahan bakar pertamax. Perbedaan antara bahan bakar pertamax dan gas HHO terjadi nilai torsi tertinggi senilai 19,267 N.m pada putaran mesin 7000 rpm. Standar pabrikan torsi tertinggi normal sepeda motor berada pada putaran mesin 13,8 N.m pada putaran mesin 7000 rpm.

#### 4.5.2 Daya pengereman (*Brake Horse Power*)

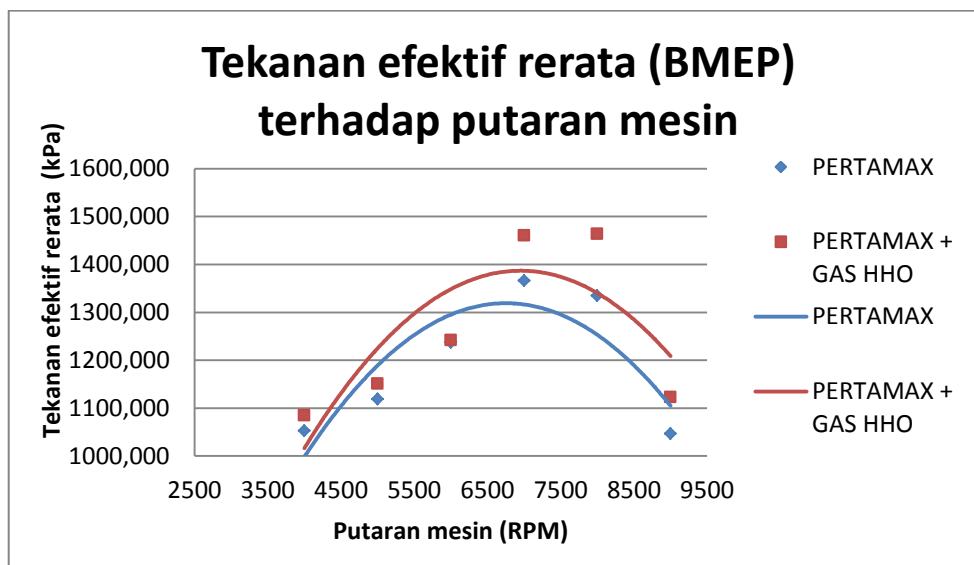


Gambar 4.9 Daya pengereman (BHP) terhadap putaran mesin

Pengujian pada sepeda motor menghasilkan daya poros (*brake horse power*). Daya poros mengindikasikan dari daya yang dihasilkan mesin sepeda motor untuk menggerakkan beban. Beban pada pengujian ini adalah *roller water brake*. Nilai daya poros sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linier atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudut. Kecepatan sudut dihasilkan dari nilai putaran *roller water brake* dan radian 1 putaran penuh  $360^\circ$ . Nilai daya tertinggi yang terhitung senilai 13,255 kW pada putaran mesin 8000 berbahan bakar pertamax. Penggunaan bahan bakar pertamax dan gas HHO menghasilkan nilai daya tertinggi senilai 14,54 kW pada putaran 8000. Data standar pabrikan sepeda motor daya tertinggi dihasilkan senilai 12,4 kW pada putaran mesin 9000 rpm. Tenaga puncak dengan penggunaan bahan bakar pertamax lebih rendah dibanding, setelah dilakukan penambahan gas HHO. Pada putaran mesin 9000 kebutuhan bahan bakar dan udara khususnya oksigen semakin tinggi, jika tidak diimbangi dengan suplai udara dan bahan bakar yang seimbang, menghasilkan campuran yang tidak seimbang. Pada kondisi putaran mesin 9000 rpm terjadi kekurangan udara karena kecepatan hisap lebih cepat dari laju aliran udara pada ruang bakar, sehingga terjadi campuran miskin dan berakibat pada penurunan

daya pada mesin sepeda motor. Kondisi yang efektif terjadi pada putaran mesin 8000 terlihat nilai daya tertinggi dibandingkan variasi rpm lain.

#### 4.5.3 Tekanan efektif rerata (*Brake Mean Effective Pressure*)

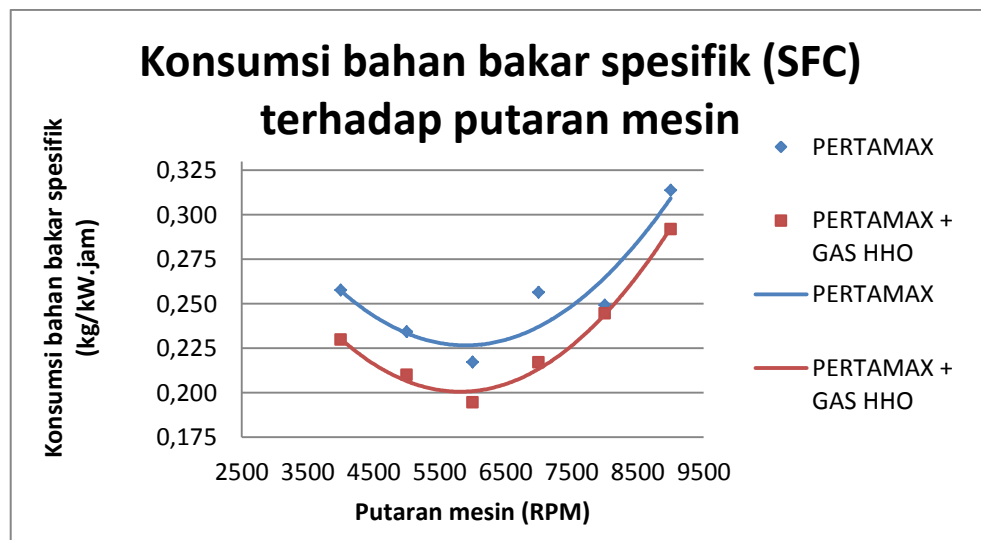


Gambar 4.10 Tekanan efektif rerata pengereman (BMEP) terhadap putaran mesin

Tekanan efektif rerata merupakan tekanan yang terjadi didalam ruang bakar pada permukaan piston yang bergerak dari titik mati atas (TMA) hingga titik mati bawah (TMB). Nilai tekanan efektif rerata semakin besar sebanding dengan tekanan yang dihasilkan dari proses pembakaran diruang bakar dan berbanding terbalik dengan volume ruang bakar, semakin besar ruang bakar dengan tekanan yang sama maka gaya dalam bentuk tekanan terdistribusi lebih banyak dan terbagi lebih kecil, karena luasan piston dan volume ruang bakar. Tekanan efektif rerata tertinggi dari pengujian sepeda motor dihasilkan dari putaran mesin 7000 rpm senilai 1366,404 kPa dengan bahan bakar pertamax. Penggunaan bahan bakar pertamax dan gas HHO dihasilkan tekanan efektif rerata tertinggi senilai 1463,648 kPa pada putaran mesin 7000 rpm. Perbedaan densitas pada bahan bakar mempengaruhi campuran antar udara dan bahan bakar saat diruang bakar. Semakin efektif campuran bahan bakar menghasilkan nilai kalor yang efisien sehingga meningkatkan energi yang dihasilkan dan menghasilkan tekanan pada piston/torak lebih besar. Penggunaan bahan bakar pertamax yang memiliki nilai

volumetri lebih rendah dibanding gas HHO, menghasilkan efisiensi lebih rendah terlihat dari dayam torsi hingga tekanan efektif di permukaan piston dalam ruang bakar. Pada bahan bakar memiliki kriteria *flame speed* masing. *Flame speed* merupakan kecepatan rambat api yang terjadi saat proses pembakaran. Pertamax *flame speed* senilai 37 – 43 cm/s dan gas HHO *flame speed* senilai 165 – 325 cm/s dari kondisi *flame speed* terlihat perbedaan yang signifikan antara pertamax dan gas HHO dengan melakukan modifikasi pada bahan bakar, dengan cara menambahkan bahan bakar berupa gas HHO beakibat peningkatan nominal *flame speed* sehingga kecepatan api semakin tinggi, dikarenakan hal tersebut pembakaran lebih cepat sehingga energi yang tersimpan pada bahan bakar terkonversi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai *flame speed* lebih rendah. Pada kecepatan putaran tinggi terkolerasi dengan peningkatan kecepatan hisap bahan bakar ke dalam ruang bakar, jika tidak diimbangi dengan kecepatan campuran bahan bakar dan pembakaran yang sempurna berakibat tidak terbakar sempurna campuran udara dan bahan bakar dan tidak terkonversi energi secara efektif didalam ruang bakar saat proses pembakaran.

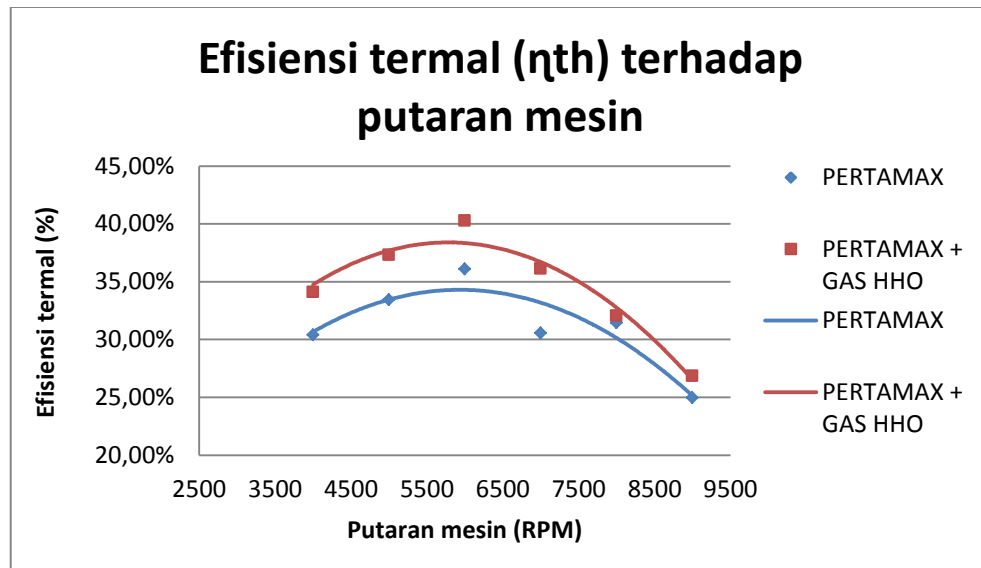
#### 4.5.4 Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*)



Gambar 4.11 Konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin

Kebutuhan bahan bakar untuk tiap putaran mesin berbeda bergantung dengan daya, torsi dan tekanan efektif rerata yang dihasilkan. Daya, torsi dan tekanan efektif rerata yang dihasilkan semakin besar maka konsumsi bahan bakar tiap waktu semakin singkat. Pengujian sepeda motor dihasilkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi pada putaran mesin 9000 senilai 0,314 kg/kW.jam dengan penggunaan bahan bakar pertamax dan nilai bahan bakar spesifik meningkat pada putaran mesin 9000 dengan penambahan gas HHO, senilai 0,292 kg/kW.jam. Mesin sepeda motor uji menggunakan sistem suplai bahan bakar injeksi, berbeda dengan sistem suplai karbutor, sistem injeksi melakukan pencampuran bahan bakar sesuai kebutuhan mesin. Penambahan gas HHO dimungkinkan dibaca campuran kaya pada sistem (ECU) melalui sensor bahan bakar, sehingga memerintahkan untuk menurunkan suplai bahan bakar melalui pompa bahan bakar ke dalam ruang bakar, sehingga terjadi penurunan konsumsi bahan bakar. Penurunan suplai bahan bakar dilakukan supaya pembakaran mendekati campuran sesuai. Pada putaran mesin 9000 laju aliran bahan bakar pertamax senilai 0,949 gr/s pada penggunaan bahan bakar standar pertamax dan laju aliran bahan bakar pertamax senilai 0,947 gr/s pada penggunaan bahan bakar pertamax dan gas HHO. Korelasi antara laju aliran massa bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik terjadi pada semakin besar konsumsi atau aliran massa bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar maka semakin berat jumlah massanya, sehingga nilai energi dalam satuan watt juga akan meningkat di tiap waktunya. Keadaan yang diinginkan pada setiap kendaraan adalah menekan konsumsi bahan bakar dan menghasilkan nilai energi yang terkonversi paling tinggi, sehingga dihasilkan nilai efisiensi termal yang lebih tinggi.

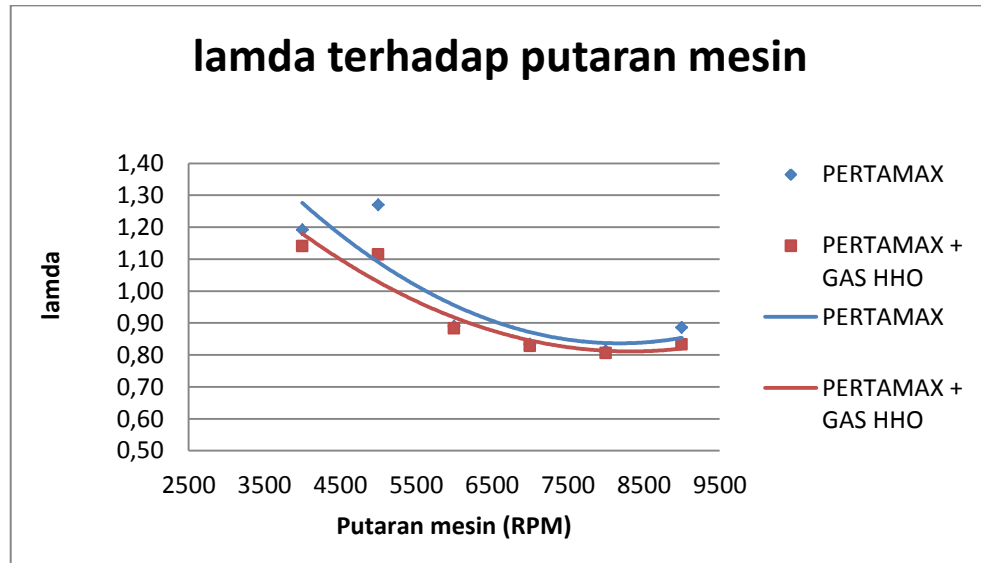
#### 4.5.5 Efisiensi termal (*Thermal Efficiency*)



Gambar 4.12 Efisiensi termal terhadap putaran mesin

Efisiensi termal merupakan ukuran nilai penggunaan energi yang tersimpan didalam bahan bakar dalam bentuk kalor yang diubah menjadi daya efektif pada mesin sepeda motor. Efisiensi termal mengindikasikan nilai konversi energi kalor menjadi energi mekanik. Efisiensi termal dengan penggunaan bahan bakar pertamax menghasilkan nilai tertinggi 36,09% pada putaran mesin 6000 rpm dan terendah senilai 24,97% pada putaran mesin 9000 rpm. Penambahan gas hho pada bahan bakar pertamax pada putaran 6000 rpm menghasilkan nilai tertinggi senilai 40,27% dan pada putaran mesin 9000 rpm menghasilkan nilai terendah senilai 26,85%. Puncak atau nilai efisiensi tertinggi terjadi pada putaran mesin 6000 rpm, pada putaran tersebut energi yang disimpan dalam bentuk bahan bakar terkonversi paling efisien menjadi energi dalam bentuk lainnya. Efisiensi termal pada mesin khususnya benda uji sepeda motor ini, tidak akan mencapai 100%, karena sebagian besar energi yang dikonversi dari bahan bakar terbuang kelilingkungan dalam bentuk panas dan *friction (losses)*. Secara teori energi di mesin motor bakar dalam lebih banyak terbuang menjadi panas dibanding menjadi energi mekanik atau lainnya.

#### 4.5.6 Lamda ( $\lambda$ )

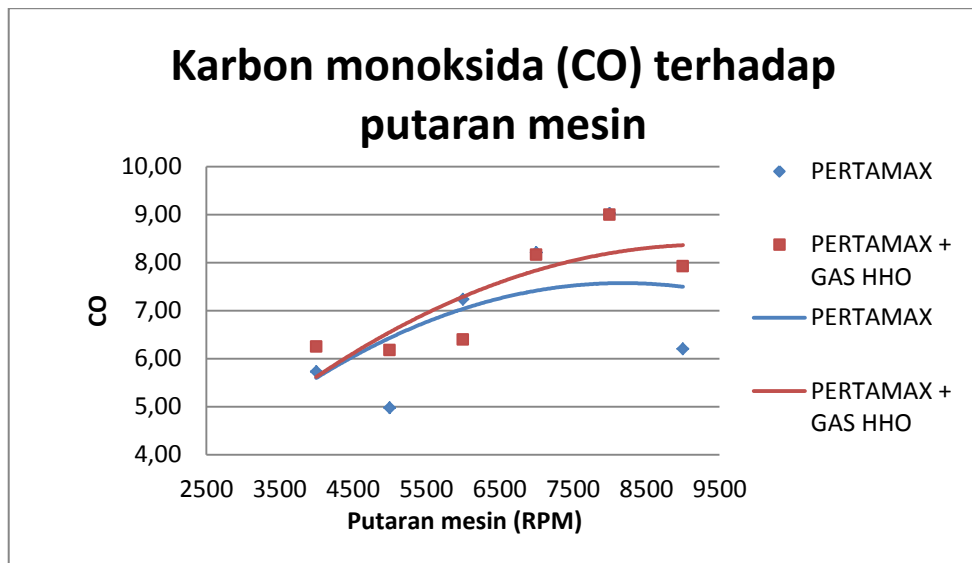


Gambar 4.13 Lamda terhadap putaran mesin

Pada proses pembakaran dibutuhkan perbandingan 1 : 14,7 , 1 kg bahan bakar : 14,7 udara. Perbandingan tersebut disebut stoikiometri, pada bahan bakar hidrogen memiliki nilai perbandingan 1 : 34,3. Faktor udara eksese (excess air factor)  $\lambda$  mengindikasikan campuran antara bahan bakar dan udara. Jika  $\lambda = 1$  maka campuran tersebut stoikiometri, untuk  $\lambda < 1$  maka terjadi campuran kaya, terlalu banyak bahan bakar dibanding udara. Dan jika  $\lambda > 1$  maka terjadi campuran miskin, dengan dominasi terbanyak pada udara. *Trend line* yang dihasilkan dari data penelitian tentang lamda bahan bakar pertamax lebih kecil nilai  $\lambda$  dibanding kan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO. Kondisi mesin dengan penambahan bahan bakar gas HHO dimungkinkan menjadi campuran kaya (*rich fuel mixture*), sehingga nilai  $\lambda < 1$ , karena dalam kandungan gas HHO memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding nilai kalor pertamax. Nilai kalor pertamax senilai 43,9 MJ/kg dan nilai kalor gas HHO senilai 119,93 MJ/kg. Energi yang tersimpan pada gas HHO dengan berat yang sama lebih tinggi dibanding bahan bakar pertamax. Nilai  $\lambda < 1$  terjadi pada putaran mesin 6000 – 9000 rpm. Dan untuk campuran miskin  $\lambda > 1$  terjadi pada putaran mesin 4000 & 5000. Dan nilai  $\lambda = 1$ , atau mendekati 1 pada putaran mesin 6000, pada posisi tersebut campuran hampir mendekati stoikiometri.

## 4.6 Analisa Gas Buang Mesin Sepeda Motor

### 4.6.1 Gas karbon monoksida (CO)



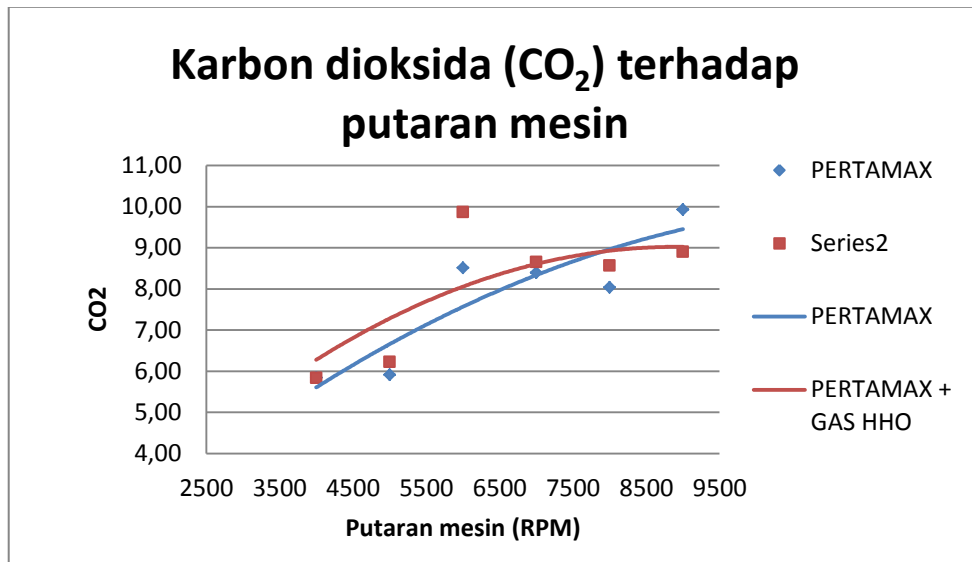
Gambar 4.14 Gas karbon monoksida (CO) terhadap putaran mesin

pada saat campuran kaya (kekurangan udara atau kelebihan bahan bakar) emisi gas buang CO meningkat. Hal tersebut dikarenakan atom karbon (C) yang berasal dari bahan bakar tidak teroksidasi sempurna dengan oksigen ( $O_2$ ) yang berasal dari udara. Pada kondisi campuran miskin (kelebihan udara atau kekurangan bahan bakar) konsentrasi CO berbanding lurus dengan campuran bahan bakar dan udara yang masuk kedalam ruang bakar sehingga konsentrasi CO menurun dikarenakan oksigen yang berasal dari udara telah memenuhi reaksi dengan karbon hingga membentuk  $CO_2$ . Kurva menunjukkan hasil pembakaran berupa gas buang yang saling berhimpitan antara penggunaan bahan bakar pertamax dan penggunaan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO. Pada putaran mesin 4000, 5000, dan 9000 rpm kondisi campuran pertamax dan gas HHO konsentrasi CO lebih tinggi dibanding putaran mesin 6000, 7000 dan 8000 rpm. Pada variasi rpm yang digunakan konsentrasi kandungan gas buang CO tertinggi terjadi pada putaran mesin 8000 pada penggunaan bahan bakar pertamax dan pertamax dengan penambahan gas HHO. Penggunaan pertamax dihasilkan CO senilai 9,025 %vol. dan penambahan gas HHO pada bahan bakar pertamax dihasilkan senilai 8,994 %vol.. Hasil kedua variasi bahan bakar terlihat nilai CO



lebih rendah dengan penambahan gas HHO. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terjadi campuran yang memperbaiki konsentrasi dan mendekatkan pada kondisi stoikiometri.

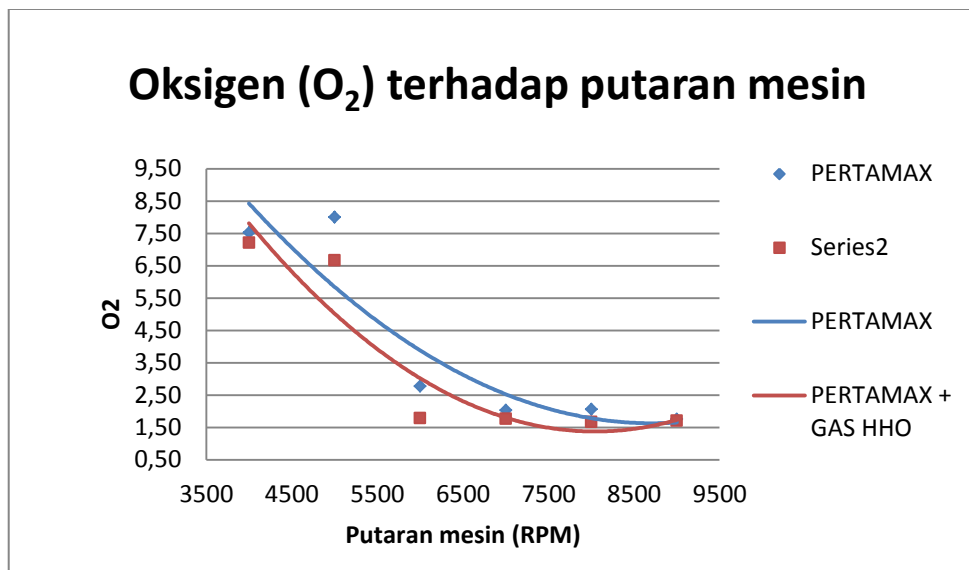
#### 4.6.2 Gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)



Gambar 4.15 Gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terhadap putaran mesin

Konsentrasi gas karbon dioksida pada penggunaan bahan bakar pertamax lebih tinggi pada putaran mesin 9000 rpm. Fenomena tersebut berlawanan dengan putaran mesin ke 6000 rpm, terlihat nilai konsentrasi lebih tinggi dengan penambahan gas HHO. Kondisi putaran mesin 9000 rpm dengan bahan bakar pertamax konsentrasi CO<sub>2</sub> senilai 9,920 %vol. dan kadar CO<sub>2</sub> lebih rendah pada rpm tersebut dengan hasil senilai 8,900 %vol.

#### 4.6.3 Gas oksigen ( $O_2$ )

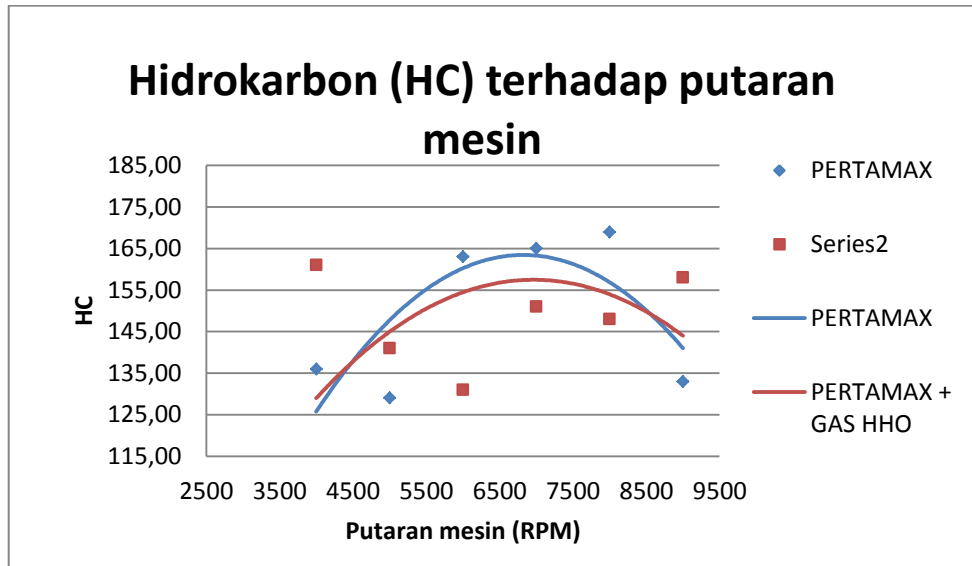


Gambar 4.16 Gas oksigen ( $O_2$ ) terhadap putaran mesin

Pada proses pembakaran oksigen dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan bakar sehingga terbakar didalam ruang bakar torak. Hasil pembakaran dengan kondisi oksigen yang tercukupi secara stokiometri menghasilkan kandungan gas  $CO_2$  tinggi dan  $H_2O$ . Pada putaran mesin rendah berkisar antara 4000 – 5000 rpm terjadi kenaikan konsentrasi gas oksigen yang tinggi, hal tersebut diindikasikan terjadi kekurangan bahan bakar yang dioksidasi atau terlalu banyak udara khususnya oksigen yang bercampur dengan bahan bakar sehingga terjadi campuran yang miskin bahan bakar (*lean fuel mixture*), dipastikan dengan korelasi pada grafik lamda (terlihat pada gambar 4.13) dan pada putaran mesin tinggi terjadi campuran yang lebih kaya sehingga konsentrasi gas buang berupa oksigen lebih rendah. Bahan bakar pertamax diseluruh variasi nilai konsentrasi oksigen lebih rendah dibanding dengan penambahan gas HHO pada bahan bakar pertamax. Konsentrasi tertinggi kandungan oksigen dihasilkan pada putaran mesin 5000 rpm dengan bahan bakar pertamax senilai 8,000 %vol. dan konsentrasi terendah kandungan gas oksigen dihasilkan pada putaran mesin 9000 senilai 1,750 %vol. penambahan gas HHO pada penggunaan bahan bakar pertamax dihasilkan nilai konsentrasi gas oksigen tertinggi senilai 7,210 %vol. pada putaran mesin

4000 rpm, dan terendah dengan kondisi bahan bakar yang sama terjadi pada putaran mesin 8000 rpm, senilai 1,660 %vol.

#### 4.6.4 Gas hidrokarbon (HC)



Gambar 4.17 Gas hidrokarbon (HC) terhadap putaran mesin

Pada campuran miskin, konsentrasi hidrokarbon meningkat. Hal ini disebabkan kurangnya suplai bahan bakar sehingga didalam ruang bakar terjadi perambatan bunga api yang lambat dan bahan bakar keluar dari ruang bakar sebelum terbakar dengan sempurna, dan pada campuran kaya konsentrasi hidrokarbon meningkat dikarenakan hidrokarbon yang terkandung didalam bahan bakar tidak terbakar sempurna karena minimnya oksigen sebagai oksidator saat proses pembakaran sehingga hidrokarbon yang tidak terbakar keluar dari ruang bakar ke lingkungan sekitar. Pada penggunaan bahan bakar pertamax kondisi lebih kaya dibanding dengan penggunaan bahan bakar dengan penambahan gas HHO. Pada penggunaan bahan bakar pertamax di putaran mesin 6000, 7000 & 8000 dihasilkan nilai konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan gas HHO dan bernilai sebaliknya pada variasi putaran mesin lainnya. Kandungan HC/hidrokarbon tertinggi pada seluruh variasi putaran mesin dihasilkan pada putaran mesin ke 8000 rpm senilai 169,000 ppm vol. dengan bahan bakar pertamax. Dan kandungan HC terendah pada putaran 5000 rpm dengan bahan bakar pertamax.

## LAMPIRAN 1

### DATA PENELITIAN UNJUK KERJA GENERATOR GAS HHO

#### 1. Data unjuk kerja generator gas HHO (direct connection)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO (direct connection)																					
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	ñ (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata		Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	Direct	1,00	13,28	13,10	13,19	7,60	7,70	7,65	100,90	36,30	43,20	39,75	26,26	30,20	28,23	2,21E-02	1,08E-02	6,45E-03	8,88E-04	4,19
2	20	Direct	1,00	13,10	13,06	13,08	7,70	7,80	7,75	101,37	43,20	54,20	48,70	33,10	37,70	35,40	3,09E-02	1,52E-02	8,99E-03	1,24E-03	5,84
3	30	Direct	1,00	13,06	12,98	13,02	7,80	8,00	7,90	102,86	54,20	63,30	58,75	39,30	40,80	40,05	3,31E-02	1,63E-02	9,49E-03	1,33E-03	6,17
4	40	Direct	1,00	12,98	12,97	12,98	8,00	8,10	8,05	104,45	63,30	66,80	65,05	43,50	46,30	44,90	3,86E-02	1,90E-02	1,09E-02	1,55E-03	7,09
5	50	Direct	1,00	12,97	12,98	12,98	8,10	8,50	8,30	107,69	66,80	68,40	67,60	49,20	52,10	50,65	4,42E-02	2,17E-02	1,21E-02	1,78E-03	7,85
6	60	Direct	1,00	12,98	12,99	12,99	8,50	8,60	8,55	111,02	68,40	70,60	69,50	53,70	55,00	54,35	4,42E-02	2,17E-02	1,17E-02	1,78E-03	7,62

## 2. Data unjuk kerja generator gas HHO (PWM *duty cycle* 20%)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO + PWM 20%																					
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	ñ (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata		Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	20	1	4,51	4,46	4,49	3,40	3,20	3,30	14,80	34,50	37,30	35,90	27,70	28,00	27,85	1,66E-02	8,14E-03	3,30E-02	6,66E-04	21,43
2	20	20	1	4,46	4,29	4,38	3,20	3,40	3,30	14,44	37,30	43,60	40,45	28,00	33,20	30,60	1,66E-02	8,14E-03	3,38E-02	6,66E-04	21,97
3	30	20	1	4,29	4,30	4,30	3,40	3,80	3,60	15,46	43,60	47,60	45,60	33,20	37,40	35,30	2,21E-02	1,08E-02	4,21E-02	8,88E-04	27,35
4	40	20	1	4,30	4,24	4,27	3,80	4,40	4,10	17,51	47,60	52,00	49,80	37,40	42,40	39,90	2,76E-02	1,36E-02	4,65E-02	1,11E-03	30,19
5	50	20	1	4,24	4,52	4,38	4,40	4,30	4,35	19,05	52,00	55,60	53,80	42,40	46,50	44,45	3,31E-02	1,63E-02	5,12E-02	1,33E-03	33,29
6	60	20	1	4,52	4,43	4,48	4,30	4,20	4,25	19,02	55,60	60,80	58,20	46,50	50,40	48,45	3,31E-02	1,63E-02	5,13E-02	1,33E-03	33,35
7	70	20	1	4,43	4,29	4,36	4,20	4,00	4,10	17,88	60,80	62,60	61,70	50,40	53,40	51,90	3,31E-02	1,63E-02	5,46E-02	1,33E-03	35,49
8	80	20	1	4,29	4,35	4,32	4,00	4,50	4,25	18,36	62,60	64,90	63,75	53,40	56,60	55,00	3,86E-02	1,90E-02	6,20E-02	1,55E-03	40,31
9	90	20	1	4,35	4,31	4,33	4,50	4,40	4,45	19,27	64,90	65,10	65,00	56,60	56,60	56,60	4,14E-02	2,03E-02	6,33E-02	1,66E-03	41,15
10	100	20	1	4,31	4,29	4,30	4,40	4,30	4,35	18,71	65,10	65,40	65,25	56,60	55,50	56,05	4,14E-02	2,03E-02	6,52E-02	1,66E-03	42,39
11	110	20	1	4,29	4,31	4,30	4,30	4,50	4,40	18,92	65,40	65,50	65,45	55,50	54,30	54,90	4,14E-02	2,03E-02	6,45E-02	1,66E-03	41,91
12	120	20	1	4,31	4,27	4,29	4,50	4,60	4,55	19,52	65,50	64,20	64,85	54,30	54,90	54,60	3,86E-02	1,90E-02	5,84E-02	1,55E-03	37,91
13	130	20	1	4,27	4,13	4,20	4,60	4,80	4,70	19,74	64,20	64,40	64,30	54,90	54,80	54,85	3,86E-02	1,90E-02	5,77E-02	1,55E-03	37,49
14	140	20	1	4,13	4,31	4,22	4,80	4,70	4,75	20,05	64,40	64,00	64,20	54,80	54,40	54,60	3,86E-02	1,90E-02	5,68E-02	1,55E-03	36,92
15	150	20	1	4,31	4,27	4,29	4,70	4,60	4,65	19,95	64,00	64,20	64,10	54,40	54,40	54,40	3,86E-02	1,90E-02	5,71E-02	1,55E-03	37,10
16	160	20	1	4,27	4,30	4,29	4,60	4,80	4,70	20,14	64,20	63,90	64,05	54,40	54,60	54,50	3,86E-02	1,90E-02	5,66E-02	1,55E-03	36,75
17	170	20	1	4,30	4,31	4,31	4,80	4,20	4,50	19,37	63,90	64,10	64,00	54,60	53,80	54,20	3,86E-02	1,90E-02	5,88E-02	1,55E-03	38,20
18	180	20	1	4,31	4,25	4,28	4,20	4,40	4,30	18,40	64,10	64,80	64,45	53,80	53,60	53,70	3,86E-02	1,90E-02	6,19E-02	1,55E-03	40,21
19	190	20	1	4,25	4,31	4,28	4,40	4,80	4,60	19,69	64,80	63,30	64,05	53,60	54,40	54,00	3,86E-02	1,90E-02	5,79E-02	1,55E-03	37,59
20	200	20	1	4,31	4,32	4,32	4,80	4,90	4,85	20,93	63,30	64,70	64,00	54,40	53,50	53,95	3,86E-02	1,90E-02	5,44E-02	1,55E-03	35,36
21	210	20	1	4,32	4,33	4,33	4,90	4,60	4,75	20,54	64,70	64,50	64,60	53,50	53,60	53,55	3,86E-02	1,90E-02	5,54E-02	1,55E-03	36,02
22	220	20	1	4,33	4,30	4,32	4,60	5,00	4,80	20,71	64,50	66,90	65,70	53,60	54,40	54,00	3,86E-02	1,90E-02	5,50E-02	1,55E-03	35,73
23	230	20	1	4,30	4,28	4,29	5,00	5,00	5,00	21,45	66,90	66,90	66,90	54,40	54,10	54,25	4,42E-02	2,17E-02	6,07E-02	1,78E-03	39,43
24	240	20	1	4,28	4,30	4,29	5,00	5,00	5,00	21,45	66,90	67,30	67,10	54,10	54,60	54,35	4,42E-02	2,17E-02	6,07E-02	1,78E-03	39,43

### 3. Data unjuk kerja generator gas HHO (PWM *duty cycle* 40%)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO + PWM 40 %																						
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Daya listrik (Joule/detik)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	n (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata			Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	40	1,00	5,43	5,40	5,42	3,40	3,50	3,45	18,68	18,68	37,60	42,00	39,80	29,00	33,40	31,20	3,86E-02	1,90E-02	6,10E-02	1,55E-03	39,61
2	20	40	1,00	5,40	5,22	5,31	3,50	3,60	3,55	18,85	18,85	42,00	50,20	46,10	33,40	42,30	37,85	4,42E-02	2,17E-02	6,91E-02	1,78E-03	44,87
3	30	40	1,00	5,22	5,11	5,17	3,60	3,75	3,68	18,98	18,98	50,20	55,90	53,05	42,30	48,30	45,30	4,42E-02	2,17E-02	6,86E-02	1,78E-03	44,56
4	40	40	1,00	5,11	5,20	5,16	3,75	3,80	3,78	19,46	19,46	55,90	57,20	56,55	48,30	51,40	49,85	4,42E-02	2,17E-02	6,69E-02	1,78E-03	43,46
5	50	40	1,00	5,20	5,19	5,20	3,80	3,85	3,83	19,87	19,87	57,20	60,20	58,70	51,40	53,30	52,35	4,69E-02	2,31E-02	6,96E-02	1,89E-03	45,22
6	60	40	1,00	5,19	5,07	5,13	3,85	3,90	3,88	19,88	19,88	60,20	61,60	60,90	53,30	55,40	54,35	4,69E-02	2,31E-02	6,96E-02	1,89E-03	45,21
7	70	40	1,00	5,07	5,11	5,09	3,90	4,20	4,05	20,61	20,61	61,60	63,70	62,65	55,40	58,20	56,80	4,97E-02	2,44E-02	7,10E-02	2,00E-03	46,16
8	80	40	1,00	5,11	5,00	5,06	4,20	4,30	4,25	21,48	21,48	63,70	63,00	63,35	58,20	59,20	58,70	4,97E-02	2,44E-02	6,82E-02	2,00E-03	44,29
9	90	40	1,00	5,00	5,02	5,01	4,30	4,35	4,33	21,67	21,67	63,00	64,40	63,70	59,20	60,70	59,95	5,25E-02	2,58E-02	7,13E-02	2,11E-03	46,35
10	100	40	1,00	5,02	5,05	5,04	4,35	4,55	4,45	22,41	22,41	64,40	65,10	64,75	60,70	61,40	61,05	5,25E-02	2,58E-02	6,90E-02	2,11E-03	44,83
11	110	40	1,00	5,05	5,09	5,07	4,55	4,65	4,60	23,32	23,32	65,10	65,80	65,45	61,40	62,10	61,75	4,97E-02	2,44E-02	6,28E-02	2,00E-03	40,80
12	120	40	1,00	5,09	5,13	5,11	4,65	4,80	4,73	24,14	24,14	65,80	66,10	65,95	62,10	63,00	62,55	5,25E-02	2,58E-02	6,40E-02	2,11E-03	41,60
13	130	40	1,00	5,13	5,19	5,16	4,80	4,90	4,85	25,03	25,03	66,10	66,40	66,25	63,00	62,40	62,70	5,52E-02	2,71E-02	6,50E-02	2,22E-03	42,25
14	140	40	1,00	5,19	5,24	5,22	4,90	5,20	5,05	26,34	26,34	66,40	66,40	66,40	62,40	63,70	63,05	5,52E-02	2,71E-02	6,18E-02	2,22E-03	40,14
15	150	40	1,00	5,24	5,22	5,23	5,20	5,15	5,18	27,07	27,07	66,40	66,50	66,45	63,70	64,20	63,95	6,07E-02	2,98E-02	6,61E-02	2,44E-03	42,97
16	160	40	1,00	5,22	5,34	5,28	5,15	5,20	5,18	27,32	27,32	66,50	67,70	67,10	64,20	64,10	64,15	5,52E-02	2,71E-02	5,96E-02	2,22E-03	38,69
17	170	40	1,00	5,34	5,58	5,46	5,20	5,30	5,25	28,67	28,67	67,70	68,40	68,05	64,10	64,20	64,15	6,07E-02	2,98E-02	6,24E-02	2,44E-03	40,57
18	180	40	1,00	5,58	5,76	5,67	5,30	5,40	5,35	30,33	30,33	68,40	68,90	68,65	64,20	64,10	64,15	6,07E-02	2,98E-02	5,90E-02	2,44E-03	38,34
19	190	40	1,00	5,76	5,60	5,68	5,40	5,45	5,43	30,81	30,81	68,90	69,70	69,30	64,10	64,70	64,40	6,07E-02	2,98E-02	5,81E-02	2,44E-03	37,74
20	200	40	1,00	5,60	5,50	5,55	5,45	5,40	5,43	30,11	30,11	69,70	70,30	70,00	64,70	65,40	65,05	6,07E-02	2,98E-02	5,94E-02	2,44E-03	38,63
21	210	40	1,00	5,50	5,45	5,48	5,40	5,55	5,48	29,98	29,98	70,30	71,10	70,70	65,40	65,70	65,55	6,07E-02	2,98E-02	5,97E-02	2,44E-03	38,80

#### 4. Data unjuk kerja generator gas HHO (PWM *duty cycle* 60%)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO + PWM 60%																					
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	ḡ (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata		Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	60	1,00	8,48	8,44	8,46	3,20	3,70	3,45	29,19	33,50	38,80	36,15	25,30	28,40	26,85	2,76E-02	1,36E-02	2,79E-02	1,11E-03	18,11
2	20	60	1,00	8,44	8,35	8,40	3,70	3,80	3,75	31,48	38,80	45,40	42,10	31,40	34,00	32,70	2,76E-02	1,36E-02	2,58E-02	1,11E-03	16,79
3	30	60	1,00	8,35	8,24	8,30	3,80	4,20	4,00	33,18	45,40	50,80	48,10	36,40	38,50	37,45	2,76E-02	1,36E-02	2,45E-02	1,11E-03	15,93
4	40	60	1,00	8,24	8,18	8,21	4,20	4,40	4,30	35,30	50,80	56,80	53,80	40,30	41,30	40,80	3,86E-02	1,90E-02	3,23E-02	1,55E-03	20,96
5	50	60	1,00	8,18	8,08	8,13	4,40	4,70	4,55	36,99	56,80	62,20	59,50	42,50	42,30	42,40	4,42E-02	2,17E-02	3,52E-02	1,78E-03	22,86
6	60	60	1,00	8,08	8,01	8,05	4,70	4,90	4,80	38,62	62,20	60,70	61,45	47,50	49,50	48,50	4,42E-02	2,17E-02	3,37E-02	1,78E-03	21,90
7	70	60	1,00	8,01	8,00	8,01	4,90	4,80	4,85	38,82	60,70	61,70	61,20	50,30	51,30	50,80	4,97E-02	2,44E-02	3,77E-02	2,00E-03	24,51
8	80	60	1,00	8,00	8,00	8,00	4,80	4,90	4,85	38,80	61,70	64,50	63,10	52,60	53,70	53,15	4,97E-02	2,44E-02	3,77E-02	2,00E-03	24,52
9	90	60	1,00	8,00	7,84	7,92	4,90	5,20	5,05	40,00	64,50	66,00	65,25	54,60	55,70	55,15	4,97E-02	2,44E-02	3,66E-02	2,00E-03	23,79
10	100	60	1,00	7,84	7,80	7,82	5,20	5,30	5,25	41,06	66,00	66,60	66,30	56,70	56,60	56,65	4,97E-02	2,44E-02	3,57E-02	2,00E-03	23,18
11	110	60	1,00	7,80	7,70	7,75	5,30	5,80	5,55	43,01	66,60	67,20	66,90	57,30	57,50	57,40	4,97E-02	2,44E-02	3,40E-02	2,00E-03	22,12
12	120	60	1,00	7,70	7,69	7,70	5,80	5,60	5,70	43,86	67,20	67,70	67,45	57,70	58,30	58,00	4,97E-02	2,44E-02	3,34E-02	2,00E-03	21,69
13	130	60	1,00	7,69	7,61	7,65	5,60	6,00	5,80	44,37	67,70	69,10	68,40	58,70	59,80	59,25	4,97E-02	2,44E-02	3,30E-02	2,00E-03	21,44
14	140	60	1,00	7,61	7,55	7,58	6,00	6,20	6,10	46,24	69,10	69,20	69,15	60,60	60,50	60,55	5,52E-02	2,71E-02	3,52E-02	2,22E-03	22,87
15	150	60	1,00	7,55	7,62	7,59	6,20	5,70	5,95	45,13	69,20	68,50	68,85	60,10	61,40	60,75	6,07E-02	2,98E-02	3,97E-02	2,44E-03	25,77
16	160	60	1,00	7,62	7,60	7,61	5,70	6,40	6,05	46,04	68,50	69,80	69,15	61,30	61,60	61,45	6,63E-02	3,25E-02	4,24E-02	2,66E-03	27,56
17	170	60	1,00	7,60	7,55	7,58	6,40	6,20	6,30	47,72	69,80	70,60	70,20	61,40	62,40	61,90	6,63E-02	3,25E-02	4,09E-02	2,66E-03	26,58

## 5. Data unjuk kerja generator gas HHO (PWM *duty cycle* 80%)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO + PWM 80%																					
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	ñ (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata		Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	80	1,00	8,53	8,06	8,30	9,30	9,60	9,45	78,39	42,70	52,50	47,60	2,60	34,30	18,45	6,07E-02	2,98E-02	2,28E-02	2,44E-03	14,84
2	20	80	1,00	8,06	7,57	7,82	9,60	10,20	9,90	77,37	52,50	61,70	57,10	40,30	46,30	43,30	6,63E-02	3,25E-02	2,52E-02	2,66E-03	16,40
3	30	80	1,00	7,57	7,24	7,41	10,20	11,80	11,00	81,46	61,70	65,60	63,65	52,40	56,80	54,60	8,83E-02	4,34E-02	3,20E-02	3,55E-03	20,77
4	40	80	1,00	7,24	7,24	7,24	11,80	12,30	12,05	87,24	65,60	72,70	69,15	61,20	62,60	61,90	9,94E-02	4,88E-02	3,36E-02	4,00E-03	21,81

## 6. Data unjuk kerja generator gas HHO (PWM *duty cycle* 100%)

TEST SHEET PERFORMANCE GHHO + PWM 100%																					
No.	Waktu Pengujian (menit)	Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan listrik (volt)			Arus listrik (ampere)			Daya listrik (watt)	Temperatur Elektrolit (°C)			Temperatur Reservoir (°C)			Debit gas HHO (Liter/menit)	massa jenis gas (gram/menit)	produksi gas spesifik (gram/joule)	ñ (mol/menit)	Efisiensi η (%)
				Tegangan awal	Tegangan akhir	Tegangan rerata	Arus awal	Arus akhir	Arus rerata		Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata	Temperatur awal	Temperatur akhir	Temperatur rerata					
1	10	100	1,00	10,60	10,42	10,51	9,00	11,50	10,25	107,73	42,10	50,50	46,30	30,70	39,50	35,10	8,28E-02	4,07E-02	2,27E-02	3,33E-03	14,72
2	20	100	1,00	9,51	9,00	9,26	10,70	10,70	10,70	99,03	57,00	62,00	59,50	47,00	53,30	50,15	7,18E-02	3,53E-02	2,14E-02	2,89E-03	13,88
3	30	100	1,00	8,65	8,56	8,61	10,00	10,90	10,45	89,92	64,50	68,60	66,55	57,20	60,60	58,90	7,18E-02	3,53E-02	2,35E-02	2,89E-03	15,28
4	40	100	1,00	8,47	8,10	8,29	10,80	9,80	10,30	85,34	70,40	72,40	71,40	63,00	65,00	64,00	7,73E-02	3,80E-02	2,67E-02	3,11E-03	17,34



## LAMPIRAN 2

### DATA PENELITIAN UNJUK KERJA SEPEDA MOTOR DAN APLIKASI GAS HHO

#### 1. Data penelitian unjuk kerja mesin sepeda motor berbahan bakar PERTAMAX

ENGINE RPM (rev/min)	putaran roller waterbrake (rev/min)	BT- Torsi pengereman (kgf.m)	BT- Torsi pengereman (N.m)	BHP- Daya efektif pengereman (kW)	BMEP- Tekanan efektif Rerata (kPa)	TIME C.F. (secon/25ml)	m - laju aliran massa B.B. (gr/s)	efisiensi termal ( $\eta$ th)	Sfc (kg/kW.jam)	TEMPERATUR (°C)					GAS BUANG					
										EXHAUST (T1)	OIL (T2)	ENGINE TOP (T3)	ENGINE BOTTOM (T4)	ENVIR. (T5)	CO (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm vol.)	NOx (ppm vol.)	O2 (% vol.)	Lamda
4000	3351	1,508	14,900	5,226	1052,410	50,650	0,348	30,40%	0,258	494	119	116	140	29	5,730	5,840	136,000	-	7,530	1,192
5000	4103	1,637	16,176	6,947	1119,147	41,910	0,421	33,44%	0,234	536	116	112	142	30	4,978	5,910	129,000	-	8,000	1,270
6000	5212	1,710	16,896	9,217	1237,423	34,090	0,518	36,09%	0,217	647	107	101	134	30	7,240	8,510	163,000	-	2,770	0,890
7000	6075	1,890	18,674	11,874	1366,404	22,410	0,787	30,56%	0,256	645	100	96	124	30	8,210	8,390	165,000	-	2,030	0,834
8000	6966	1,840	18,180	13,255	1334,690	20,650	0,854	31,44%	0,249	625	93	117	102	30	9,025	8,030	169,000	-	2,060	0,813
9000	8440	1,340	13,240	11,696	1046,824	18,590	0,949	24,97%	0,314	584	85	153	85	30	6,202	9,920	133,000	-	1,750	0,886

#### 2. Data penelitian unjuk kerja mesin sepeda motor berbahan bakar PERTAMAX + gas HHO

ENGINE RPM (rev/min)	putaran roller waterbrake (rev/min)	BT- Torsi pengereman (kgf.m)	BT- Torsi pengereman (N.m)	BHP- Daya efektif pengereman (kW)	BMEP- Tekanan efektif Rerata (kPa)	TIME C.F. (secon/25ml)	m - laju aliran massa B.B. (gr/s)	efisiensi termal ( $\eta$ th)	Sfc (kg/kW.jam)	TEMPERATUR (°C)				GENERATOR GAS HHO						GAS BUANG					
										EXHAUST (T1)	OIL (T2)	ENGINE TOP (T3)	ENGINE BOTTOM (T4)	FLOWRATE (L/min)	TEMP. ELECTROLYTE (°C)	TEMP. RESERVOIR (°C)	VOLT (V)	AMPERE (A)	DAYA (WATT)	CO (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm vol.)	NOx (ppm vol.)	O2 (% vol.)	Lamda
4000	3246	1,605	15,858	5,39	1085,007	55,120	0,320	34,11%	0,230	513	119	108	140	0,32	47,5	29,5	2,12	1,9	4,028	6,247	5,830	161,000	-	7,210	1,141
5000	3993	1,730	17,094	7,14	1150,918	45,470	0,388	37,31%	0,210	563	115	111	140	0,85	50	29,4	2,15	2,3	4,945	6,177	6,220	141,000	-	6,670	1,114
6000	5053	1,770	17,489	9,25	1241,768	37,910	0,465	40,27%	0,195	631	110	105	138	1,75	60,1	29,4	2,7	2,17	5,859	6,399	9,860	131,000	-	1,780	0,883
7000	6293	1,950	19,267	12,69	1460,372	24,780	0,712	36,12%	0,217	657	104	117	134	3,6	65,2	29,5	2,21	3,4	7,514	8,165	8,650	151,000	-	1,760	0,828
8000	7316	1,921	18,983	14,54	1463,648	19,190	0,919	32,04%	0,245	665	98	100	127	4,06	70,1	29,5	2,28	4,1	9,348	8,994	8,560	148,000	-	1,660	0,806
9000	8545	1,420	14,031	12,55	1123,122	18,630	0,947	26,85%	0,292	644	78	163	97	4,78	78,8	29	3,12	5,2	16,224	7,922	8,900	158,000	-	1,700	0,833

### LAMPIRAN 3

#### SPESIFIKASI SEPEDA MOTOR UJI

Dimensi			
Panjang X Lebar X Tinggi	2.019 x 719 x 1.039 mm	2.019 x 719 x 1.039 mm	
Jarak Sumbu Roda	1.293 mm	1.293 mm	
Jarak terendah ke tanah	169 mm	169 mm	
Berat kosong	136 kg	136 kg	
Kapasitas tangki bahan bakar	12 liter	12 liter	
Rangka			
rangka	Diamond (truss) frame	Diamond (truss) frame	
Tipe suspensi depan	Teleskopik	Teleskopik	
Tipe suspensi belakang	Lengan ayun dengan suspensi tunggal	Lengan ayun dengan suspensi tunggal	
Ukuran Ban Depan	100/80-17 52P (tubeless)	100/80-17 52P (tubeless)	
Ukuran Ban Belakang	130/70-17 62P (tubeless)	130/70-17 62P (tubeless)	
Rem Depan	Cakram Hidrolik	Cakram Hidrolik	
Rem Belakang	Cakram Hidrolik	Cakram Hidrolik	
Mesin			
mesin	4 langkah, DOHC - 4 katup	4 langkah, DOHC - 4 katup	
Kelas	150 cc	150 cc	
Volume Langkah	149,16 cc	149,16 cc	
Diameter X Langkah	57,3 x 57,8	57,3 x 57,8	
Perbandingan Kompresi	11,3 : 1	11,3 : 1	
Daya Maksimum	12,4 kW (16,9 PS) / 9.000 rpm	12,4 kW (16,9 PS) / 9.000 rpm	
Torsi Maksimum	13,8 Nm (1,41 kgf.m) / 7.000 rpm	13,8 Nm (1,41 kgf.m) / 7.000 rpm	
Kapasitas Minyak Pelumas Mesin	1,1	1,1	
Tipe Kopling	Multiplate wet clutch coil spring	Multiplate wet clutch coil spring	
Tipe Transmisi	Manual, 6-Kecepatan	Manual, 6-Kecepatan	
Pola Pengoperan Gigi	1-N-2-3-4-5-6	1-N-2-3-4-5-6	
Tipe Starter	Pedal & elektrik	Pedal & elektrik	
Kelistrikan			
Tipe Battery	MF battery, 12 V - 5 Ah	MF battery, 12 V - 5 Ah	
Busi	NGK MR9C-9N / ND U27EPR-N9	NGK MR9C-9N / ND U27EPR-N9	
Pengapian	Full Transistorized	Full Transistorized	

Sumber : <http://www.astra-honda.com>

## LAMPIRAN 4

### SPESIFIKASI BENSIN PERTAMAX

#### LAMPIRAN



<b>FUNGSI</b> : SUPLAI DAN DISTRIBUSI BBM	<b>NOMOR</b> : D-001/E 10130/07-SO
<b>JUDUL</b> : KEPUTUSAN DIRJEN MIGAS	<b>REVISI</b> : 0
	<b>BERLAKU</b> : 2007
	<b>HALAMAN</b> : 5 dari 15

#### 1.5 TIPIKAL BENSIN PERTAMAX

No.	SIFAT	SATUAN	BATASAN		METODE	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Angka Oktana Riset	RON	92,0		D 2699	
2.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/lt		0,013	D 3341	Atau D 5059
3.	Distilasi :					
	10% vol penguapan	°C		74		
	50% vol penguapan	°C	88	125 *)		
	90% vol penguapan	°C		180		
	Titik didih akhir	°C		205		
	Residu	% v/v		2,0		
4.	Tekanan Uap Reid pada 37,8°C	kPa		62 *)	D 323	
5.	Getah Purwa	mg/100 ml		4	D 381	
6.	Periode Induksi	kg/m <sup>3</sup>			D 525	
7.	Kandungan Belerang	% massa	240	0,20	D 1266	
8.	Korosi Bilah tembaga 3 jam/50°C			No.1	D 130	
9.	Uji Doctor			Negative		IP 30
	Atau					
10.	Belerang Mercaptan	% massa		0,0020	D 3227	
11.	Kandungan senyawa oksigenat	% volume		11		Dicampurkan
12.	Warna		Biru			visual
13.	Kandungan Pewarna	gr/100 lt		0,13		
14.	Bau		Dapat dipasarkan			

\*) Penyesuaian dibenarkan dengan mengandung volatility adjustment table Ref : sertifikat kualitas dari PERTAMINA Unit Balongan No.0384/E16220/BBM/XII/2002 Tanggal 06 Desember 2002.

Sumber: Pertamina,2007

## LAMPIRAN 6

### PERBANDINGAN SPESIFIKASI BAHAN BAKAR BENSIN DAN GAS HYDROGEN

The Properties of Hydrogen		
Properties	Unleaded Gasoline	Hydrogen
Autoignition temperature (K)	533 – 733	858
Minimum ignition energy (mJ)	0,24	0,02
Flammability limits (volume % in air)	1,4 – 7,6	4 – 75
Stoichiometric air-fuel ration on mass basis	14,6	34,3
Limits of flammability (equivalence ratio)	0,7 – 3,8	0,1 – 7,1
Density at 16°C and 1.01 bar ( $kg/m^3$ )	721 – 785	0,0838
Net heating value (Mj/kg)	43,9	119,93
Flame velocity (cm/s)	37 – 43	165 – 325
Quenching gap in NTP air (cm)	0,2	0,064
Diffusivity in air ( $cm^2/s$ )	0,08	0,63
Research octane number (RON)	92 – 98	90 - 130
Motor octane number	80 – 90	-
Flashpoint	Approximately - 43°C	< ( - 253 °C)

Sumber : Yilmaz,2010., hydrogen fuel cell engines and related technology,2011.  
dan Pulkrabek, 1997.

## LAMPIRAN 7

### SPESIFIKASI KATODA TITANIUM UJI XRF (1-2)

18-Mar-2016 10:51:24

#### Sample results - Averages

Page 1

Sample ident
T5

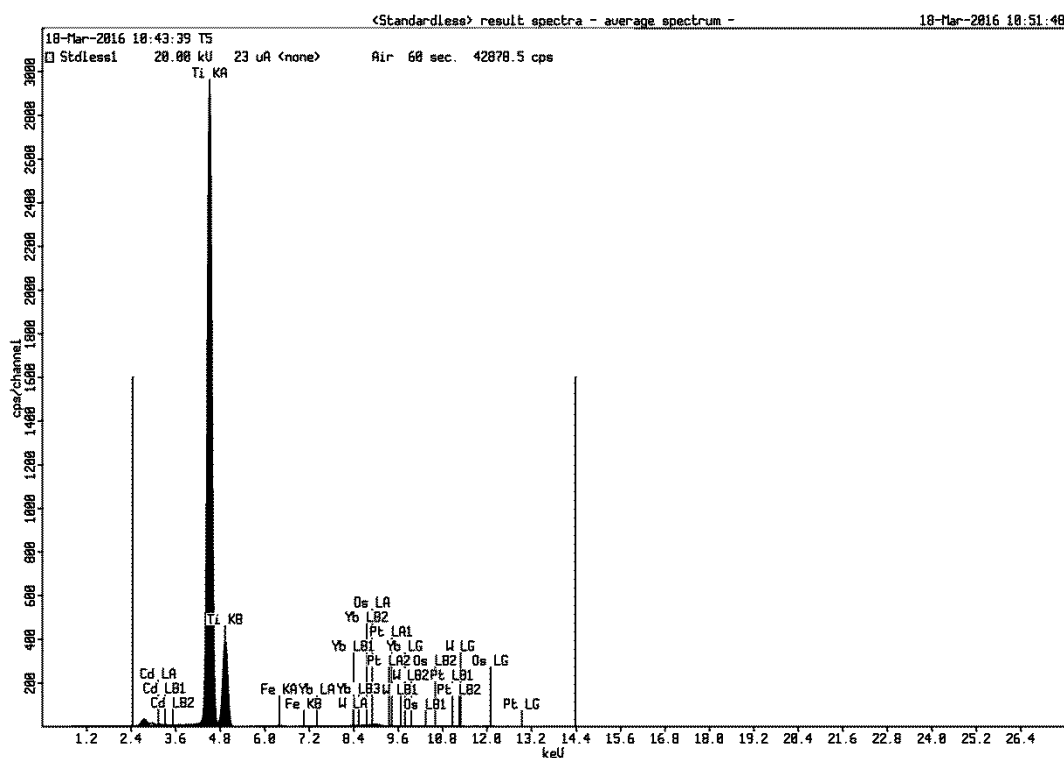
Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	18-Mar-2016 10:35:42
Measurement period - end	18-Mar-2016 10:43:39
Position	2

Compound	Ti	Fe	Cd	Yb	W	Os
Conc	98.24 +/- 0.704	0.16 +/- 0.007	0.53 +/- 0.04	0.41 +/- 0.07	0.18 +/- 0.04	0.66 +/- 0.12
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Pt
Conc	0.28 +/- 0.03
Unit	%

Sumber: LSM3,2016

### SPESIFIKASI ELEKTRODA TITANIUM UJI XRF (2-2)



Sumber: LSM3,2016

## LAMPIRAN 8

### PROPERTIS TERMOKIMIA PADA 298 K & 1 atm

**TABLE A-25**

Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

Substance	Formula	Molar Mass, <i>M</i> (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, $\bar{h}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, $\bar{g}_f^\circ$ (kJ/kmol)	Absolute Entropy, $\bar{s}^\circ$ (kJ/kmol · K)	Heating Values	
						Higher, HHV (kJ/kg)	Lower, LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	5.74	32,770	32,770
Hydrogen	H <sub>2</sub> (g)	2.016	0	0	130.57	141,780	119,950
Nitrogen	N <sub>2</sub> (g)	28.01	0	0	191.50	—	—
Oxygen	O <sub>2</sub> (g)	32.00	0	0	205.03	—	—
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	−110,530	−137,150	197.54	—	—
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub> (g)	44.01	−393,520	−394,380	213.69	—	—
Water	H <sub>2</sub> O(g)	18.02	−241,820	−228,590	188.72	—	—
Water	H <sub>2</sub> O(l)	18.02	−285,830	−237,180	69.95	—	—
Hydrogen peroxide	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	34.02	−136,310	−105,600	232.63	—	—
Ammonia	NH <sub>3</sub> (g)	17.03	−46,190	−16,590	192.33	—	—
Oxygen	O(g)	16.00	249,170	231,770	160.95	—	—
Hydrogen	H(g)	1.008	218,000	203,290	114.61	—	—
Nitrogen	N(g)	14.01	472,680	455,510	153.19	—	—
Hydroxyl	OH(g)	17.01	39,460	34,280	183.75	—	—
Methane	CH <sub>4</sub> (g)	16.04	−74,850	−50,790	186.16	55,510	50,020
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,910	48,220
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,300	47,160
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	30.07	−84,680	−32,890	229.49	51,870	47,480
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	42.08	20,410	62,720	266.94	48,920	45,780
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	44.09	−103,850	−23,490	269.91	50,350	46,360
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	58.12	−126,150	−15,710	310.03	49,500	45,720
Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	72.15	−146,440	−8,200	348.40	49,010	45,350
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	114.22	−208,450	17,320	463.67	48,260	44,790
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l)	114.22	−249,910	6,610	360.79	47,900	44,430
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	78.11	82,930	129,660	269.20	42,270	40,580
Methanol	CH <sub>3</sub> OH(g)	32.04	−200,890	−162,140	239.70	23,850	21,110
Methanol	CH <sub>3</sub> OH(l)	32.04	−238,810	−166,290	126.80	22,670	19,920
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	46.07	−235,310	−168,570	282.59	30,590	27,720
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	46.07	−277,690	−174,890	160.70	29,670	26,800

Sumber: Moran,2011

# LAMPIRAN 9

## SPESIFIKASI GAS HHO Uji GAS KROMATOGRAFI (QUANTITI)

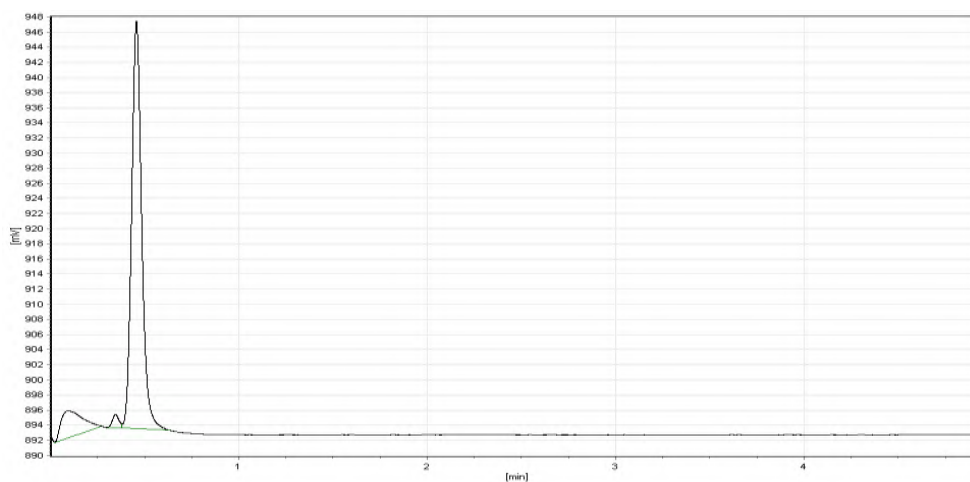
### Gas HHO

Chrom. File Name : C/D-7900E\ChrData\Gas HNO

Method Name : Hidrogen (Area Normalization)

#### Instrument Condition :

Inst. Model : GC7900  
 Detector : TCD, Temp = 200C, Current: 60 mA  
 Inlet : CIP, Temp = 150 C  
 Coloumn : Mollesieve 5A  
 Oven : 150C (8 min)



### General Result

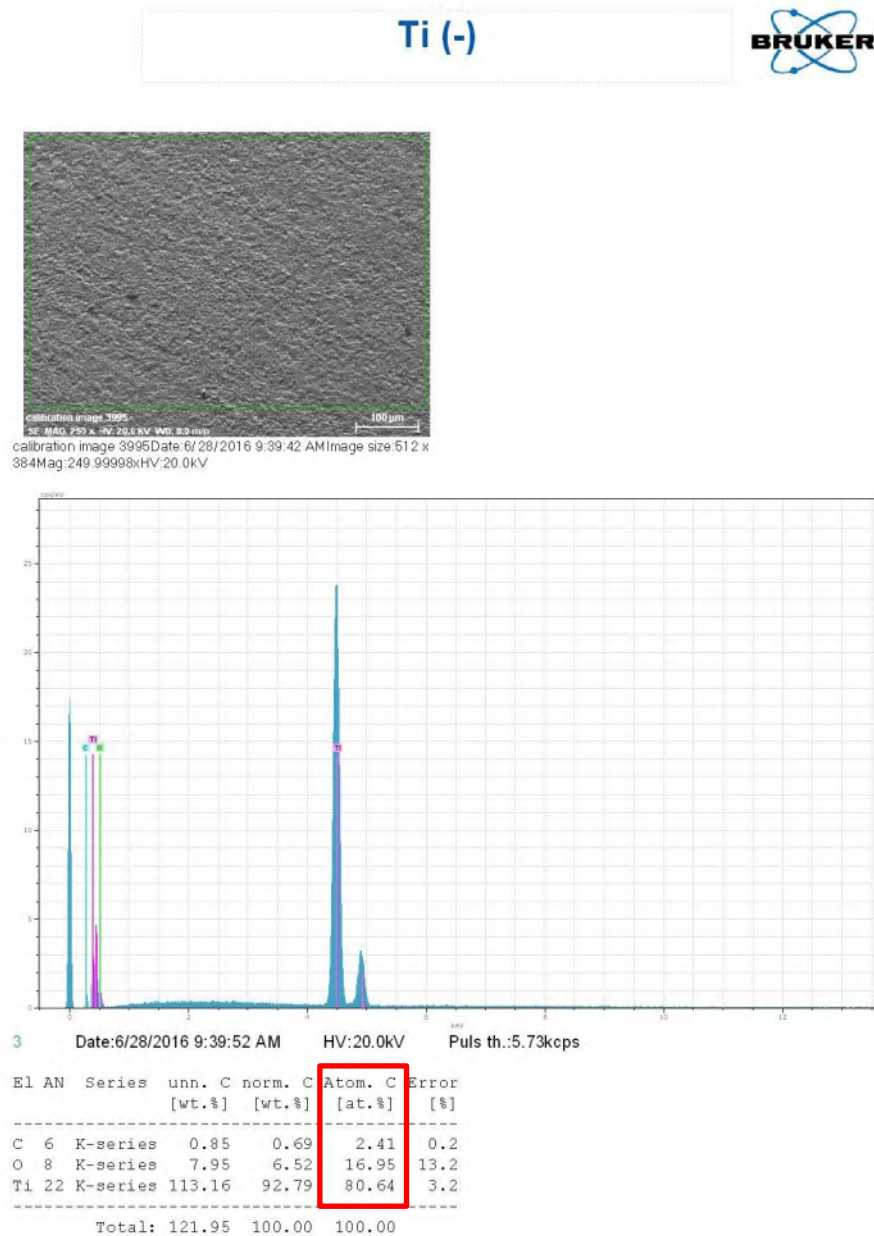
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1		0.096	3579	28320	12.14806	BB
2	H2	0.347	1747	4388	1.88245	BV
3	O2	0.457	53944	200418	85.96949	VB
TOTAL			59270	233126	100	

Sumber: LPPM (SEM-EDX),ITS

# LAMPIRAN 10

## SPESIFIKASI ELEKTRODA TITANIUM UJI SEM – EDX

### KATODA TITANIUM GRADE 1.



6/28/2016

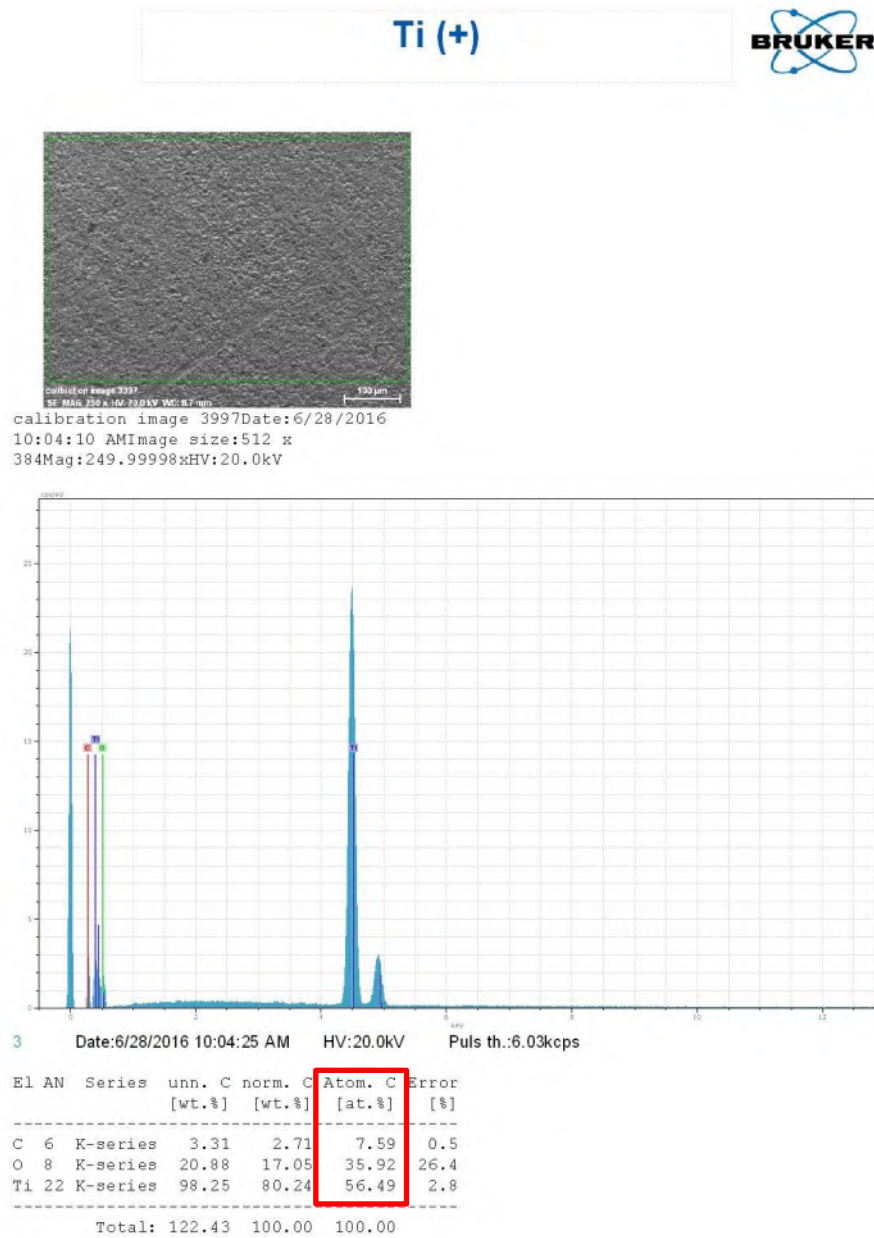
1. Page

Sumber: LPPM (SEM-EDX), ITS



# SPESIFIKASI ELEKTRODA TITANIUM Uji SEM – EDX

## ANODA TITANIUM GRADE 1.



6/28/2016

4. Page

Sumber: LPPM (SEM-EDX), ITS

## LAMPIRAN 11

UJI KADAR pH ELEKTROLIT 1gr KOH/1liter H<sub>2</sub>O PENGUJIAN

GENERATOR GAS HHO

(SEBELUM PENGUJIAN)



(SESUDAH PENGUJIAN)



## LAMPIRAN 12

UJI KADAR pH ELEKTROLIT 1gr KOH/1liter H<sub>2</sub>O SESUDAH  
PENGUJIAN GENERATOR GAS HHO



### LAMPIRAN 13

#### *FEED BACK REST / WATER VAPOR TRAPS*



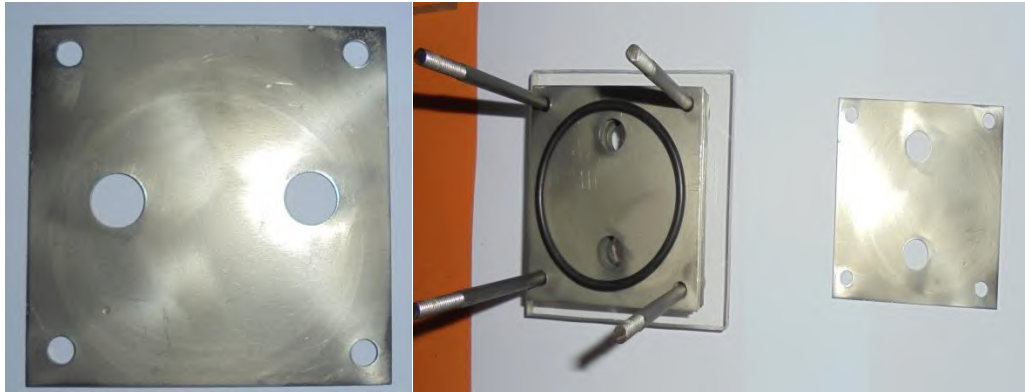
(perubahan warna silika gel sebelum & sesudah pengujian)



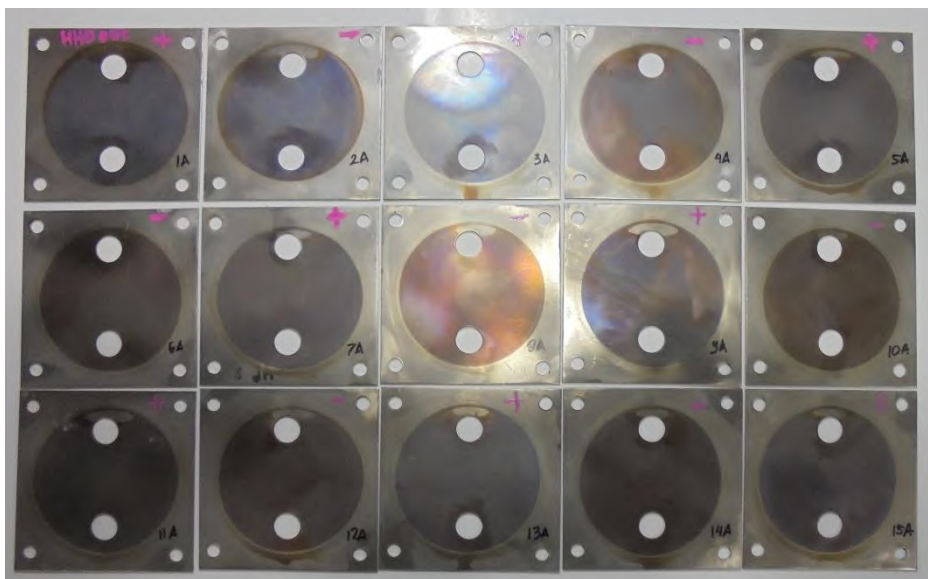
## LAMPIRAN 14

### ELEKTRODA TITANIUM

(sebelum pengujian)



(sesudah pengujian)





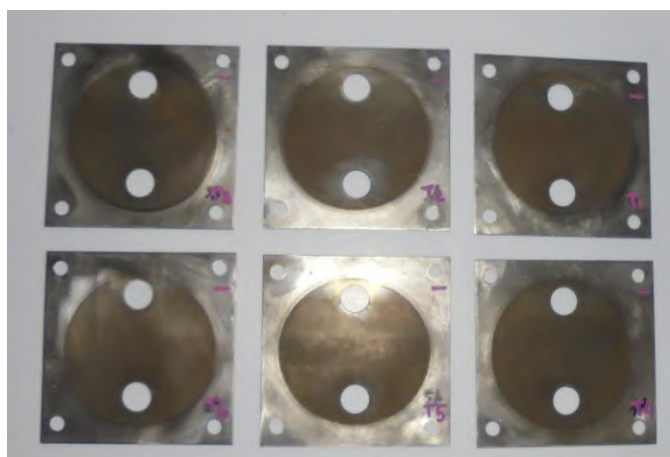
**LAMPIRAN 14**  
**ELEKTRODA SEBELUM PENGUJIAN**  
**KATODA TITANIUM**



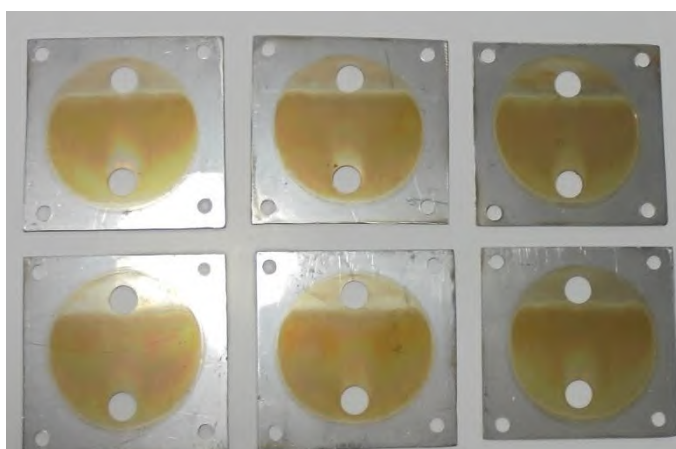
ANODA SS 304



**ELEKTRODA SESUDAH PENGUJIAN**  
**KATODA TITANIUM**



ANODA SS 304



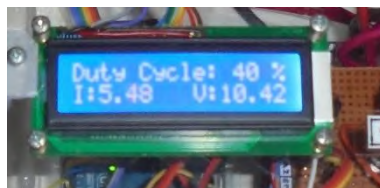
## LAMPIRAN 15

Tampilan *Pulse width modulation* (PWM)

*duty cycle 20%*



*duty cycle 40%*



*duty cycle 60%*



*duty cycle 80%*



*duty cycle 100%*



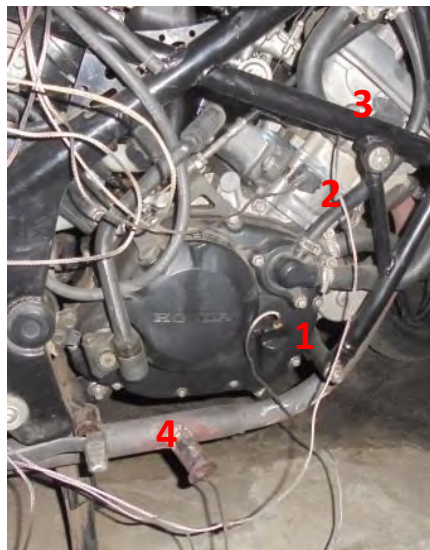
## LAMPIRAN 16

Lokasi peletakan sensor temperatur (termokopel) pengujian sepeda motor

Display termometer (termokopel)



Lokasi peletakan 4 sensor termokopel

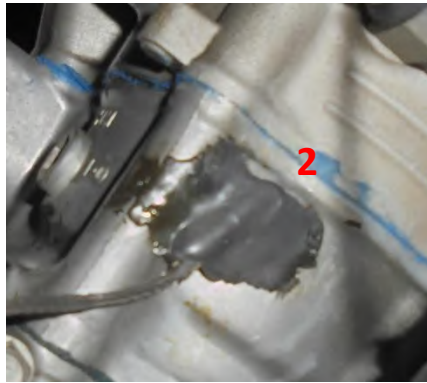


1. Termokopel pada pengukuran temperatur oli mesin





2. Termokopel pada pengukuran temperatur blok mesin bawah



3. Termokopel pada pengukuran temperatur blok mesin atas



4. Termokopel pada pengukuran temperatur gas buang (exhaust)



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan pada unjuk kerja generator gas HHO dan unjuk kerja mesin sepeda motor menghasilkan data penelitian yang telah dihitung dan dianalisa, hingga menghasilkan kesimpulan sebagai berikut,

1. Pengaruh yang terukur dari hasil pengujian unjuk kerja generator gas HHO dengan variasi *direct connection*, PWM *duty cycle* 20%, 40%, 60%, & 80%, sebagai berikut
  - Efisiensi tertinggi pada variasi *duty cycle* 40% senilai 42,15% dan terendah pada variasi *direct connection* senilai 6,46%
  - Waktu pengujian terlama pada variasi *duty cycle* 20% selama 240 menit dan tersingkat pada *duty cycle* 80% selama 40 menit
  - Kebutuhan daya tertinggi senilai 104,72 watt pada variasi *direct connection* dan terendah senilai 18,97 watt pada variasi *duty cycle* 20%
  - Laju produksi gas tertinggi senilai  $3,86 \times 10^{-2}$  gr/menit pada variasi *duty cycle* 80% dan terendah senilai  $1,74 \times 10^{-2}$  gr/menit pada variasi *direct connection*
  - Produksi gas spesifik tertinggi senilai  $6,49 \times 10^{-2}$  gr/joule pada variasi *duty cycle* 40% dan terendah senilai  $9,94 \times 10^{-3}$  gr/joule pada variasi *direct connection*
  - Secara umum generator gas HHO penggunaan material titanium *grade* 1 (spesifikasi terlihat di Lampiran 7) tidak efisien diposisikan pada anoda karena titanium cenderung membentuk lapisan semikonduktor *film* yang tidak efektif diproses elektrolisa.
  - Penggunaan elektroda yang berbeda material menghasilkan fenomena yang tidak sama dengan fenomena generator gas HHO dengan material yang sama, sebagai contoh kenaikan arus dan tegangan yang menghasilkan produk gas yang relatif tidak konstan.

- Semakin kecil perubahan kenaikan arus semakin kecil produksi gas HHO, semakin tinggi teganan listrik yang terukur semakin tinggi peningkatan temperatur elektrolit.
  - Kenaikan temperatur terjadi karena reaksi endoterm dari proses elektrolisa dan panas yang ditimbulkan akibat perambatan listrik pada luasan elektroda / penampang, sesuai teori *eddy current (induction heating)*.
2. Pengaruh yang terukur dari hasil pengujian unjuk kerja sepeda motor CB 150 R Honda terhadap bahan bakar pertamax standar dan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO, sebagai berikut
- Bahan bakar standar pertamax menghasilkan torsi tertinggi senilai 18,674 N.m pada putaran mesin 7000 rpm, daya tertinggi senilai 13,255 kW pada putaran mesin 8000 rpm, konsumsi bahan spesifik tertinggi senilai 0,314 kg/kW.jam pada putaran mesin 9000 rpm, efisiensi termal tertinggi senilai 36,09% pada putaran mesin 6000 rpm, tekanan efektif rerata tertinggi senilai 1366,404 kPa pada putaran mesin 7000.
  - Bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO menghasilkan torsi tertinggi senilai 19,267 N.m pada putaran mesin 7000 rpm, daya tertinggi senilai 14,54 kW pada putaran mesin 8000 rpm, konsumsi bahan spesifik tertinggi senilai 0,292 kg/kW.jam pada putaran mesin 9000 rpm, efisiensi termal tertinggi senilai 40,27% pada putaran mesin 6000 rpm, tekanan efektif rerata tertinggi senilai 1463,648 kPa pada putaran mesin 8000.
3. Pengaruh yang terukur dari hasil pengujian gas buang sepeda motor CB 150 R Honda terhadap bahan bakar pertamax standar dan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO, sebagai berikut
- Penggunaan bahan bakar pertamax kandungan hidrokarbon tertinggi 169,00 ppm vol. pada rpm 8000, kandungan oksigen tertinggi 8,00 %vol. pada rpm 5000, kandungan karbonmonoksida tertinggi 9,03 %vol. pada rpm 8000, kandungan karbondioksida tertinggi 9,92 %vol. pada rpm 9000.

- Penggunaan bahan bakar pertamax dan gas HHO kandungan hidrokarbon tertinggi 161,00 ppm vol. pada rpm 4000, kandungan oksigen tertinggi 7,21 %vol. pada rpm 4000, kandungan karbonmonoksida tertinggi 8,99 %vol. pada rpm 8000, kandungan karbondioksida tertinggi 9,86 %vol. pada rpm 6000.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya :

1. Generator gas HHO (SS304 sebagai anoda & titanium gr.1 sebagai katoda)
  - a. Divariasikan katalisator atau elektrolit dengan asam kuat atau garam, untuk mengetahui perubahan karakter generator terhadap perubahan elektrolit/katalis dengan mempertimbangkan konduktifitas kelistrikan katalis.
  - b. Divariasikan duty cycle dari 10 hingga 100 % dengan interval 10 atau 5 %, untuk menghasilkan data tambahan selain dutycycle 20,40,60,100%.
  - c. Divariasikan anoda dengan stainless steel 316 atau stainless steel tipe lainnya, terutama elektroda yang lebih memiliki keunggulan di proses elektrolisa dengan memperhitungkan hambatan kelistrikan dan konduktifitas termal material.
  - d. Divariasikan jarak antara elektroda untuk menghasilkan nilai jarak terefisien (%), referensi lain menyimpulkan semakin dekat jarak antara elektroda semakin baik efisiensi thermalnya.
  - e. Divariasikan lokasi pengambilan data, untuk mengetahui perubahan temperatur generator gas HHO, khususnya temperatur elektrolit, pada lokasi dengan temperatur lingkungan di surabaya  $\approx 30-34^{\circ}\text{C}$
  - f. Divariasikan kadar elektrolit (katalis : aquades), menggunakan kadar katalis lebih tinggi dari 1 gr. Hal yang perlu diperhatikan dengan penambahan kadar katalisator berupa arus yang meningkat dengan tingginya kadar katalisator pada elektrolit.
  - g. Penambahan elektroda (sesuai teori eddy current) mengurangi kenaikan temperatur elektrolit, dan meningkatkan efisiensi generator karena

pembagian tegangan yang lebih kecil, akan tetapi perlu diperhitungkan untuk material titanium yaitu diagram pourbaix.

2. Pengujian unjuk kerja sepeda motor CB 150 R Honda terhadap bahan bakar pertamax standar dan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO
  - a. Yang perlu diperhatikan pada pengujian unjuk kerja sepeda motor adalah alat ukur seperti penelitian menggunakan *dynometer water brake*. Penggunaan alat ukur yang lebih akurat di sarankan pada penelitian selanjutnya. Adapun alat ukur unjuk kerja mesin sepeda motor menggunakan tipe lain dengan roller yang sudah terpasang dari parbikan.
  - b. Pada penelitian berikutnya ditambahkan pengukuran AFR, supaya ada penambahan analisa selain temperatur engine dan lain sebagainya.
  - c. Pengecekan ulang kondisi sepeda motor uji, seperti tekanan ban standar, peletakan alat ukur, dan tune up pada sepeda motor perlu dilakukan sebelum dilakukan pengujian.
  - d. Penambahan generator sebagai peproduksi gas HHO dikondisikan lebih kompak dan menyatu pada instalasi kelistrikan sepeda motor.
3. Pengaruh yang terukur dari hasil pengujian gas buang sepeda motor CB 150 R Honda terhadap bahan bakar pertamax standar dan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO, sebagai berikut
  - a. Pengukuran gas buang lebih dioptimalkan dengan penggunaan standar yang level lebih tinggi selain BSN atau SNI.
  - b. Pencatatan nilai gas buang dilakukan dengan pengaturan mulai pencatatan gas buang dan di pastikan putaran mesin relatif konstan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.Y. (2014), *Analisis Penggunaan HHO dan Tanpa HHO Terhadap Kinerja Motor Bensin*, Tesis Magister, ITS, Surabaya.
- Astra (2012), *Suplemen Buku Pedoman Reparasi CB 150R*, ASTRA Honda, Jakarta.
- Bhola S.M. dan Mishra B., (2013) , *Effect of pH on the electrochemical Properties of Oxides formed over  $\beta$ -Ti-15Mo and Mixed Ti-6Al-4V alloys*, International Journal of Electrochemical Science, Int. J. Electrochem. Sci., 8, 7075-7087
- Brian S. M., (...), *An introduction to material and sciences for chemical and material engineering*,
- BSN (2005), *Emisi Gas Buang Sumber Bergerak Bagian 1 : Cara Uji Kendaraan Bermotor Kategori M, N dan O Berpenggerak Penyalaan cetus api pada kondisi idle*, SNI 09-7118.1-2005, Jakarta
- Callister, W.D dan Rethwisch D.G, (2009), *Material Science And Engineering An Introduction*, 8<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jercey.
- Chien-Chon C., Jung-Hsuan C., Chuen-Guang C., dan Wen C. S., (2015), *Electrochemical characteristics of surface of titanium formed by electrolytic polishing and anodizing*, Journal of Materials Science, vol. 40, pp. 4053 – 4059.
- Cook, Brian, (2009), *Introduction to fuel cells and hydrogen technology*, IEEE Xplore, John Moores University, Liverpool.
- Cynthia G. Z., (...), *Handbook of electrochemistry*.
- Daniela I., Belarisa P., dan Ioana D., (...), *The Kinetic Parameters in Electrochemical Behaviour of Titanium in Artificial Saliva*, Institute of Physical Chemistry of the Romanian Academy, Romania.
- Erjavec, J, (2010), *Automotive Technology*, 5<sup>th</sup> edition, Delmar, New York.

- Ghiffari A.Y. (2013), *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell Berdimensi 80x80 mm Dengan Penambahan PWM E-3 FF (1 kHz)*, Tugas akhir, ITS, Surabaya.
- Halderman, J.D, (2012), *Automotive Technology*, 4<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, New Jercey.
- J.Hale, A, (1919), *Manufacture Of Chemicals by Electrolysis*, Constable & Company LTD, London.
- Kadio (2016), *Spesifikasi stopwatch*, Kaido, China.
- King, M.B., (2011), “Water Electrolysis and the Zero-point Energy”, *Elsevier B.V. Physics Procedia*, No.20 hal. 435-445.
- Kuphaldt, T.R, (2012), *Lesson In Industrial Instrumentation*, 1.22 edition, Tony R. Kuphaldt, California.
- Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju (LSM3) (2016), *Hasil Analisis XRF sampel T5*, Universitas Negeri Malang, Malang.
- Land&sea (2014), *Automotive Engine Dynamometer Systems*, Dynamite, New Hampshire.
- Lanz, Andre, (2001), *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies*, 1<sup>st</sup> edition, College of the Desert, California.
- Lutjering, G dan Williams J.C, (2007), *Titanium*, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Manchester.
- Mahallawy, F.E, (2002), *Fundamentals And Technology of Combustion*, 1<sup>st</sup> edition, Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Musmar, S.A. dan Al-Rousan, A.A. (2011), “Effect of HHO gas on Combustion Emissions in Gasoline Engines”, *Elsevier Fuel* No.90 hal. 3066-3070.
- Nofriyandi, R. (2014), *Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 cc*, Tesis Magister, ITS, Surabaya.
- Obert, E.F, (1973), *Internal Combustion Engines and Air Pollution.*, Harper & Row Inc., New York.
- Omega (2016), *User Guide Mass Flowmeter FMA 1700/1800 - 1823 ST*, Omega, Stamford.

- Pertamina (2007), *Tipikal Bensin Pertamina*, Keputusan Dirjen Migas, No. D-001/E 10130/07-SO, Jakarta.
- Pulkrabek W.W, (1997), *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 1<sup>st</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Robert, B., (2006), *Gasoline Engine Management*, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Shackelford J.F, (2001), *Material Science and Engineering Handbook*, 3<sup>rd</sup> edition, CRC Press LLC, Florida.
- Shapiro, H.N, Moran, M.J, Boettner D.D, dan Bailey, M.B, (2011), *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 7<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Spektech (2016), *Spesifikasi Blower udara SHT-45*, Spektech, China.
- Stargas family (DP0212), *Stargas Family Smoke and Gas Analysis*, Sala Baganza.
- Sudarmanta, B., Darsopuspito S. dan Sungkono D., (2016), “Application of Dry Cell HHO Gas Generator With Pulse Width Modulation On Sinjai Spark Ignition Engine performance”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, eISSN: 2319-1163. pISSN:2321-7308.
- Swisscontact, (2001), *Pengetahuan Dasar Perawatan Kendaraan Niaga (Bus)*, Swisscontact Clean Air Project, Jakarta.
- Tipler P.A, (2001), *Fisika untuk sains dan teknik*, 2<sup>nd</sup>, Erlangga, Jakarta.
- Wardiyanto, (2013), *Pengaruh Penggunaan PWM E-2 VF Terhadap Performa Generator HHO Tipe Dry dan Wet Cell Berdimensi 70x70 mm*, Tugas akhir, ITS, Surabaya.
- William D. C. Jr. dan David G. R., (2009), *Material science and engineering an introduction*.
- Xintech (2016), *Spesifikasi Termocouple 4 channel HT-9815*, Xintech, China.
- Young, H.D dan Freedman R.A, (2003), *Fisika Universitas*, 10<sup>th</sup> edition, Penerbit Erlangga, Jakarta.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

Penulis umum disapa “alfi”, dengan nama lengkap Alfi Tranggono Agus Salim, lahir pada tanggal 27 april 1989 di kota Surabaya. Pendidikan formal diawali pada jenjang TK. Harapan Kita Surabaya, pada tahun 1995-2001 melanjutkan ke pendidikan dasar di SDN Kaliasin 3 Surabaya, setelah menempuh sekolah selama 6 tahun, melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah di SMPN 4 Surabaya, pada tahun 2004 melanjutkan ke SMAN 21 Surabaya selain belajar di SMA penulis juga aktif di kegiatan OSIS dan Ekstrakurikuler sekolah. Pada tahun 2007 melanjutkan pendidikan formal tingkat perguruan tinggi di ITS dengan jurusan FISIKA pada bidang INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA, selama kuliah 5,5 tahun penulis aktif pada organisasi HIMASIKA sebagai team pengkader aktif dan aktif pada kegiatan Laboratorium sebagai asisten Lab Fisika Dasar 1 dan 2 dari tahun 2010 hingga tahun 2012 dan asisten Lab Fisika Elektronika pada tahun 2011, selain menjadi asisten Lab penulis juga mengikuti kegiatan aplikatif lainnya, seperti menjadi anggota/pengurus di WEIP ITS, saat dipengurusan WEIP (Workshop Electronic Instrumentation of Physics) penulis juga aktif memberi materi pelatihan tentang instrumentasi khususnya arsitektur komputer. Banyak penelitian yang telah dilakukan saat menjadi mahasiswa Fisika ITS salah satunya tugas akhir tentang karakteristik termoelektrik, setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, dilanjutkan ke jenjang pendidikan pascasarjana di teknik mesin ITS bidang Rekayasa Konversi Energi dengan mengikuti program beasiswa PRA SAINTEK/T3 angkatan 2013, dan telah menyelesaikan tahap pascasarjana pada tahun 2016 selama 2 tahun. Beberapa pelatihan yang diadakan oleh Dinas Tenaga Kerja Surabaya dan lain sebagainya, dan seminar kemahasiswaan formal maupun non formal, ilmiah maupun non ilmiah telah diselesaikan oleh penulis, hingga berbagai kegiatan lainnya.



Penulis memiliki motto hidup yaitu, jujur, bertanggungjawab dan ikhlas. Berkaitan dengan motto hidup, penulis sangat terbuka untuk saran dan kritik maupun berbagi pengalaman dalam bentuk ilmu, khususnya penelitian yang telah

dilakukan penulis, penulis tidak berhenti hingga saat ini dan siap melanjutkan penelitian dan pengabdian lainnya untuk kebaikan dan kemanfaatan lingkungan sekitar, khususnya untuk meningkatkan kualitas SDM Indonesia. Bagi pembaca untuk mempermudah berhubungan dengan penulis dipersilahkan mengirim surat via email ke [alfitranggono@gmail.com](mailto:alfitranggono@gmail.com) atau via telepon 081330708103.